



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학박사학위논문

한강하구 습지생태계에서 말뚝게의 먹이그물

**Food web of *Sesarma dehaani* in Hangang estuarine
wetland ecosystems**

2013 년 8 월

서울대학교 대학원

생명과학부

한동욱

한강하구 습지생태계에서 말뚝게의 먹이그물
**Food web of *Sesarma dehaani* in Hangang estuarine
wetland ecosystems**

지도교수 이 은 주

이 논문을 한동욱박사학위논문으로 제출함

2013 년 6 월

서울대학교 대학원

생명과학부

한 동 욱

한동욱의 박사학위논문을 인준함

2013 년 8 월

위 원 장	_____	(인)
부 위 원 장	_____	(인)
위 원	_____	(인)
위 원	_____	(인)
위 원	_____	(인)

국문초록

한강하구 습지보호지역의 생태계 기반 관리 (Ecosystem-based management) 방안을 도출하기 위해서 말뚝게를 중심으로 먹이그물 구조를 규명하였다. 한강하구에 발달한 7 개의 하천습지와 1 개의 무인도에 대해 위치, 경계, 동식물상을 기록하여 목록화하였다. 각각의 습지에 대해 상관 (Physiognomy)에 의한 우점종을 선택하고 수반종을 판별하였으며 이중 염도와 식생에 따라 기수상부와 중부, 하부로 구획하고 각각의 우점종을 선택하였다. 기수상부 (장항습지)는 선버들 (*Salix subfragilis*), 기수중부 (공릉천하구습지)는 갈대 (*Phragmites australis*), 기수하부 (성동습지)는 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*)을 대표군락으로 선택하였다. 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)는 각각의 식물군락 내부에 서식굴을 만들어 서식하였다. 기수상부에서 선버들의 높은 순 1 차생산성 ($4777 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)과 말뚝게의 높은 2 차생산성 ($100.2 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)은 두 종간 양의 상관관계가 있음을 시사하였고 이를 증명하기 위해 탄소와 질소 안정동위원소와 지방산표지를 이용하였다. 그 결과 미성숙 말뚝게는 저토를, 성숙한 말뚝게는 식물성 먹이를 선호하였고, 성숙한 말뚝게의 경우 건조기에는 저토를 선호하고, 다습기에는 선버들의 잎을 선호하고 나아가서 미성숙 개체를 동족포식하는 경향이 나타났고 수역의 어류 중의 일부와 갯지렁이 등을 섭식하는 것으로 나타났다. 또한 서식공간과 계절에 따라

말뚥게와 식물, 저토의 안정동위원소와 지방산 분석결과, 성숙한 말뚥게에 비해 미성숙 말뚥게의 먹이원이 다양하지 않고 저토를 비롯한 몇 가지 먹이원에 대한 의존도가 높았다. 이는 기수하부의 경우 다른 두 습지에 비해 해양쪽에 근접한 개방적인 형태이어서 저토를 비롯한 해양성 먹이원 (외생성 유기물)에 대한 의존도가 높기 때문으로 해석되었다.

주요어 : 선버들, 말뚥게, 안정동위원소, 지방산, 먹이그물, 한강하구

학 번 : 2004-20551

Abstract

For the ecosystem-based management of wetlands in the Hangang estuary, I investigated the characteristics of food webs focused on *Sesarma dehanni* in brackish water zone in Hangang estuary. I listed the location, boundary, fauna and flora of 7 wetlands and 1 uninhabited island. Based on physiognomy, the dominant species and the companion species in each of wetlands were selected respectively. I grouped wetlands into three zones; the upper zone, the middle zone and the lower zone based on salinity and vegetation. Each of dominant species was selected from divided zones ; *Salix subfragilis* from the upper zone (Janghang wetland), *Phragmites australis* from the middle zone (Gongreung wetland) and *Bolboschoenus planiculmis* (Seongdong wetland). *Sesarma dehanni* occurred at burrows inside of each vegetation community. In the upper zone, the positive correlation between *S. subfragilis* and *S. dehanni* which they have high values for primary productivity ($4777 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) and secondary productivity ($100.2 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) was identified respectively. To prove the positive correlation, I measured stable isotopes of carbon and nitrogen and fatty acid biomarkers. In my results, immature *S. dehanni* preferred eating detrital sediment while mature *S. dehanni* preferred consuming plant materials. Mature *S. dehanni* had a preference for detrital sediment in a wet period and

preferred to have the leaves of *S. subfragilis* in a dry period. Furthermore mature *S. dehanni* had a tendency for cannibalism and consuming fishes (skin carp) and *Hediste japonica*. Based on the results of stable isotopes and fatty, immature *S. dehanni* appeared to be more dependent on fewer food sources such as detrital sediment than mature *S. dehanni*. Because the lower zone was located closer to ocean than other two zones, it had a high dependency on food sources such as detrital sediment and allocthonous organic matter.

Donguk HAN

The Graduate School of Biological science

Seoul National University

keywords : *Salix subfragilis*, *Sesarma dehaani*, stable isotopes, fatty acid biomarkers, food webs, Hangang estuary

Student Number : 2004-20551

목 차

제 1 장. 연구개요	1
1-1. 서 론	2
1-1-1. 연구목적 및 배경	2
1-1-2. 연구내용, 범위 및 방법	5
1-2. 연구지 개황	11
1-2-1. 한강하구의 범주와 보호지역 범위	11
1-2-2. 한강하구 습지의 분포	13
1-2-3. 한강하구 동물 서식처 구획	25
1-2-4. 기수역 상중하부의 대표 식생 구분	36
제 2 장. 장항습지의 선버들과 말뚝게 생산성	42
2-1. 서 론	43
2-2. 재료 및 방법	45
2-2-1. 연구 장소 및 시료 채취	45
2-2-2. 선버들의 개체군구조 및 생산성 추정	48
2-2-3. 외생 및 내생유기물	49
2-2-4. 말뚝게의 개체군 구조 및 생산성 추정	51
2-3. 결 과	55
2-3-1. 선버들의 개체군구조와 생장곡선	55
2-3-2. 선버들의 1차생산성	56
2-3-3. 내생 및 외생유기물	58

2-3-4. 말뚝계의 2차생산성	60
2-4. 고 찰	65
제 3 장. 장항습지에서 안정동위원소와 지방산표지를 이용한	
먹이그물구조	70
3-1. 서 론	71
3-2. 재료 및 방법	73
3-2-1. 조사지	73
3-2-2. 시료채취	75
3-2-3. 안정동위원소 모니터링	77
3-2-4. 지방산 함량 측정	78
3-2-5. 주성분분석 및 기타 통계적 분석	79
3-3. 결 과	80
3-3-1 저토, 선버들 그리고 말뚝계의 안정동위원소	80
3-3-2. 말뚝계의 건조기와 다습기의 안정동위원소값	82
3-3-3. 생태계 구성원을 포함한 장항습지의 안정동위원소 값	84
3-3-4. 말뚝계 연급에 따른 지방산 biomarker	85
3-3-5. 말뚝계 연급의 지방산 성분의 차이	87
3-4. 고 찰	89
제 4 장 공간,계절 변화에 따른 말뚝계의 먹이 관계비교	92
4-1. 서 론	93
4-2. 재료 및 방법	96
4-2-1. 조사지	96

4-2-2 시료채취.....	97
4-2-3. 탄소와 질소 안정동위원소 측정	99
4-2-4. 지방산 함량 측정	100
4-2-5. 통계 분석	101
4-3. 결 과	102
4-3-1. 장소별 생태계 구성원의 안정동위원소 분석	102
4-3-2. 말뚝계의 안정동위원소	106
4-3-3. 말뚝계의 지방산 분석	111
4-4. 고 찰	117
제 5 장 종합고찰	122
5-1. 종합결론	123
5-1-1. 한강하구 기수역의 구분	123
5-1-2. 기수역 상부의 선버들과 말뚝계 생산성과 상호 관계	124
5-1-3. 안정동위원소와 지방산을 이용한 말뚝계 먹이그물	128
5-2. 향후 전망과 과제	133
5-2-1. 한강하구의 생태계 기반 관리 방안	133
5-2-2. 한강하구의 향후 연구과제	139
제 6 장 인용문헌	141
부 록	155
부록 1. 안정동위원소 장소별 월별 분석자료	156
부록 2. 지방산 분석표	173
부록 3. 한강하구 생물목록	195

List of figures

Fig. 1-1. The location of wetland protected area and natural monument area in Hangang estuary	12
Fig. 1-2. Main wetlands in the Hangang estuary	14
Fig. 1-3. Vegetation and land type of Janghang wetland.....	16
Fig. 1-4. Vegetation of Sannam wetland.....	18
Fig. 1-5. Vegetation of Gongreungcheon estuarine wetland.....	19
Fig. 1-6. Vegetation of Seongdong wetland	20
Fig. 1-7. Vegetation of Siamri wetland.....	21
Fig. 1-8. Vegetation of Imjingang esturine wetland.....	22
Fig. 1-9. Land type of Jangdan wetland	23
Fig. 1-10. Land type of Imjingak wetland	24
Fig. 1-11. Map of habitat of Water bird and endangered species in Hangang estuary.....	26
Fig. 1-12. Indicator community of brackish water zone in Hangang estuary	37
Fig. 1-13. Zonation of brackish water zone in Hangang estuary according to physiognomy.....	38
Fig. 2-1. <i>Salix subfragilis</i> community.....	44
Fig. 2-2. Map of study site at Janghang wetland in Hangang estuary	46
Fig. 2-3. Vegetation map of study site at Janghang wetland in Hangang estuary	47

Fig. 2-4. Annual ring of <i>S. subfragilis</i>	49
Fig. 2-5. Litter trap and quadrat in JH1.	50
Fig. 2-6. Survey of allocthonous organic matters	51
Fig. 2-7. <i>Sesarma dehaani</i> (left) and crab's holes(right down).....	53
Fig. 2-8. Size distribution of <i>S. subfragilis</i> in the study site (JH1,2, and 3) in Janghang wetland	55
Fig. 2-9. Growth rate of <i>S. subfragilis</i>	56
Fig. 2-10. The primary production of <i>S. subfragilis</i> at Janghang.....	58
Fig. 2-11. Monthly production of litter estimated at JH1 in <i>S. subfragilis</i> in Janghang wetland	59
Fig. 2-12. Size group specific densities of <i>S. dehaani</i> in different habitats in Janghang wetland	63
Fig. 3-1. Map of Janghang wetland in Hangang estuary	73
Fig. 3-2. <i>Salix subfragilis</i> community(top) and flower(down).....	74
Fig. 3-3. <i>Sesarma dehaani</i> in Janghang wetland.	76
Fig. 3-4. Mean $\delta^{13}\text{C}$ (A) and Mean $\delta^{15}\text{N}$ (B) of detrital sediment, <i>S.</i> <i>subfragilis</i> and <i>S. dehaani</i> in Janghang wetland in 2007	81
Fig. 3-5. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ diagram of Janghang wetland in (A) dry period (April, 2007) and (B) wet and humid period (August, 2007).....	83
Fig. 3-6. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ diagram of Janghang wetland using annual average value and candidate food sources for <i>S. dehaani</i>	84
Fig. 3-7. Comparison of important fatty acid content of detital sediment and <i>S. subfragilis</i> (A) and fatty acid content in each age class of <i>S.</i> <i>dehaani</i> in Janghang wetland (B)	86

Fig. 3-8. PCA scores based on fatty acid profiles of sediment, <i>S. subfragilis</i> and <i>S. dehaani</i> of each age class in Janghang wetland in August, 2007 (A), and the most important loading values on the first and second principal components6 (B).....	88
Fig. 4-1. <i>Sesarma deanni</i> 's feeding activity of reed young stem.....	95
Fig. 4-2. Map of locations and overviews of sampling sites in Hangang estuary, South Korea	96
Fig. 4-3. Quadrats at 3 sites in Hangang estuary.....	98
Fig. 4-4. $\delta^{13}C$ and $\delta^{15}N$ diagram of the Hangang estuary wetland in the dry period (A) and wet period (B).....	105
Fig. 4-5. PCA scores based on fatty acid profiles of <i>S. dehaani</i> of each age class in St.1, 2, 3 in the dry period (A) and wet period (B).....	112
Fig.4-6. PCA scores based on fatty acid profiles of <i>S. dehaani</i> of age 1-2 in St. 1,2,3 in September and October, 2006.....	113
Fig. 4-7. Fatty acid content in age class 1-2 of <i>S. dehaani</i> in the three study site. Bars indicate average fatty acid content with error bars (\pm standard error) in September and October, 2006	114
Fig. 5-1. Amount of autochthonous and allochthonous organic matter at <i>S. subfragilis</i> and <i>S. dehhanl</i> organic matter	127
Fig. 5-2. Food web of Janghang wetland	130
Fig. 5-3. Preference for food source of <i>S. dehaani</i> in the dry period (A) and in the wet period (B) at Hangang estuarine wetland.....	132
Fig. 5-4. Management of tide channel in Janghang wetland.....	136
Fig. 5-5. Fruits and tubers of <i>Bolboschoenus planiculmis</i>	138
Fig. 5-6. The change in size of <i>B. planiculmis</i> community.....	138

List of tables

Table 1-1. Protected areas by local government area of the Hangang estuary	12
Table 1-2. Indicator species and endangered species of main habitat in Hangang estuary.....	34
Table 1-3. Location of sub-brackish water zone	40
Table 2-1. Age class of <i>Sesarma dehaani</i>	52
Table 2-2. Dry mass estimations for <i>Salix subfragilis</i> from allometric equations for six individuals	57
Table 2-3. Annual individual productivity of <i>S. dehaani</i> in Janghang wetland with units of g FW ind. ⁻¹ yr ⁻¹	61
Table 2-4. Annual productivity of <i>S. dehaani</i> in Janghang wetland.....	64
Table 4-1. Results of MANOVA on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values in May and September, 2007	104
Table 4-2. Analysis of variance results for a comparison of crab age class and site impacts on $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values	107
Table 4-3. Analysis of variance results for a comparison of site impacts on $\delta^{15}\text{N}$ value in each crab age class	109
Table 4-4. Results of MANOVA on PCA scores of each plot from PCAs of Fatty acid profiles	116
Table 5-1. Zonation of brackish water zone and dominant species in Hangang estuary	124
Table 5-2. Potential risk factors in Hangangr estuarine wetland.....	133

제 1 장
연구개요
Introduction

1-1. 서론

1-1-1. 연구목적 및 배경

습지 (濕地, wetland)는 육상생태계와 수생태계의 전이지대로서 일반적으로 물로 차 있거나 물과 접하고 있는 환경이라고 할 수 있다(한과 김, 2010). 대한민국 습지보전법 제 2 장 2 조에는 『담수·기수 또는 염수가 영구적 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 지역으로 내륙습지와 연안습지를 말한다.』라고 정의하며 람사르협약 (Ramsar 1971)에서는 『담수, 기수, 혹은 염수가, 영구적 또는 일시적으로, 고여 있든 흐르든 관계없이, 자연적으로나 인공적으로 생성된 늪, 습원, 이탄지 등을 말하며, 밀물 때 수심 6 미터를 넘지 않는 연안을 포함한다』로 규정하고 있다 (Ramsar 1971). 이러한 습지는 1900 년 이후 지구상 습지의 50%가 사라졌으며, 특히 1950 년 이후부터는 습지 소실 속도가 가속화되어 가는 추세 이므로 (UNWWAP 2003), 다양한 생물이 서식하는 공간으로서 중요한 역할을 하는 습지 보호는 지구상의 생물다양성이 매우 높은 생태계를 보호하는 것을 의미한다.

하구습지는 우리나라에서는 내륙습지에 포함되어 있지만 람사르협약에서는 연안습지로 규정하고 있으며, 일반적으로 강과 바다의 영향을 동시에 받는 생태계이지만 연안의 영향을 우선적으로 고려하고 있다. 이는 하구의 어원에서 확인할 수 있는데 조류 (tide)를 의미하는 aestus 와 조수에 의한 끓는 효과를 의미하는 aesto 에서 기원하였다 (Fairbridge 1968). 지형학적으로 하구역 (河口域 : estuary)은 개방된 바다로부터 반폐쇄된 연안과 담수하천과 이어지는 연속체로서, 조수의

영향에 의해 염도의 구별과 퇴적물이 변화되는 곳이다. 또한 하구의 상류부 한계를 규정할 때 '밀물이 미치는 하곡의 최상류부'인 감소역 경계와 '염분이 침투하는 최상류부'인 기수역 (汽水域 : brackish water zone) 경계라는 견해가 있는데 전자가 지배적이다 (Elliot & McLusky 2002). Elliot & McLusky (2002)에 의하면 보통 기수역의 염분농도는 최저 0.5 psu (0.05 %) 이상 30 psu (3 %)로 정의되고 있으나 이외에도 다양한 경계의 해석이 존재한다. 이러한 하구 생태계는 낮은 염도와 얕은 수심, 높은 혼탁도, 과도한 영양분, 높은 생산성, 낮은 종다양성 등이 특징이며 독특한 염분 환경과 이에 적응한 기수성 생물들의 서식처이다. 특히 하천과 해양, 담수와 해수에 걸쳐 복잡하게 나타나는 먹이그물을 가지는 것이 특징이며, 이러한 기수 환경에 적응한 생물들은 계절적으로나 공간적으로 매우 다양한 섭식 전략을 가지게 된다. 이들의 섭식전략을 통한 먹이그물 연구는 하구 생태계 내 에너지 흐름을 파악할 수 있고 이를 통해 도로 건설, 농지 개발, 골재 채취, 수위의 일정한 유지 및 범람원의 육화 등과 같은 하구 생태계의 교란 요인이 미치는 영향을 예측하여 하구 생태계를 관리하고 보전하는 데 기여할 수 있다.

우리나라 4 대강의 하구 중 유일한 자연하구인 한강하구는 1970년대 중반 이후부터 민간인의 출입이 통제되어 왔으며 2006년 환경부에 의해 한강하구 습지보호지역으로 지정되었다. 한강하구의 기수역은 염도구배가 자연스럽고 기수역 구간이 길어 다양한 하구습지 (estuarine wetland)가 발달하며 특히 기수역이 시작되는 하천영향이 강한 상부에는 갯벌생태계와 하천생태계가 함께 나타나지만 이에 대한 연구는 미미하였다. 또한 염수와 담수의 세력이 비슷한 한강하구 기수중부는

담수생태계의 지표인 버드나무류가 출현하지 않으며 기수하부는 비교적 염분내성이 있는 하구식물들이 출현한다. 그러므로 한강하구는 기수역의 시공간적 먹이그물을 비교하기에 매우 유용하다. 이 연구의 목적은 한강하구 기수역 습지의 생태학적 특성을 바탕으로 습지목록 (inventory)을 작성하고 기수상부의 장항습지에서 선버들군락의 먹이그물구조와 에너지흐름을 밝혀 선버들군락에 서식하는 말뚝게의 먹이그물의 특성을 규명하는 것이다. 또한 한강하구 기수역 전체에 걸쳐 서식하는 말뚝게와 그들의 주요 먹이원의 시공간적 차이를 비교해 보고자 하였다.

이러한 생태계 구성원들의 영양관계 (trophic relation)에 근거한 먹이그물 구조 연구는 습지보호지역의 생태계 기반 관리 방안 수립에 매우 중요하다. 생태계 기반 관리 (ecosystem-based management)는 생물종이나 생태계 서비스를 분리시켜 개별 단위를 관리하는 것이 아니라 인간을 포함한 생태계 구성원 간의 상호 작용을 중심으로 관리하고자하는 환경 관리 방법 (Christensen et al. 1996)으로 특히 먹이그물관계나 인간의 이용, 서식지와의 관계는 매우 중요한 요소이다. 그러므로 한강하구 생태계의 먹이그물 특성과 더불어 습지보호지역 기수역 생태계를 위협하는 위협요인, 이를 위해 관리되어야 할 요소 등을 밝히고 생태계에 기반한 관리 방안을 제시하고자 하며 향후 필요한 생태학적 연구방향을 제안하고자 한다.

1-1-2. 연구 내용, 범위 및 방법

연구 내용

말뚝게 (*Sesarma dehaani*)는 하구역에 서식하는 바위게과의 십각류로서 한강하구에 넓게 분포한다. 갑각 윗면은 앞뒤로 울퉁불퉁하고 수컷의 집게다리가 암컷에 비해 크고 역세다. 발목마디와 앞마디, 발가락마디의 양 모서리에는 긴 털이 촘촘히 나 있고 배는 암수 모두 7 마디이다. 7~8 월에 암컷이 알을 품고 8 월말이후에 유생털이를 한다. 말뚝게는 염습지나 기수하부는 물론 기수상부의 버드나무숲까지 서식굴을 만들고 잡식성 먹이를 섭식한다 (한반도생물자원포털, 2013). 실제 관측한 결과에 의하면 한강하구습지에서 말뚝게의 주요 식물성 먹이원은 선버들 (*Salix subfragilis*), 갈대 (*Phragmites australis*), 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*) 등의 식물과 저토 그리고 획득 가능한 동물성 먹이었다.

말뚝게의 먹이식물 중 선버들 (*S. subfragilis*)은 자연하천변의 연목림을 대표하는 버드나무로서 높이 5~7 m의 아교목으로 지름은 7~8 cm에 이른다. 작은 가지는 곧게 서는 상향성 버드나무이고 종자발아나 영양번식이 가능하다. 버드나무류는 선구식물로서 하천변의 교란이 심한 곳에서도 성장속도가 빠르다 (한 등 2010b). 갈대 (*P. australis*)는 벼과의 대표적인 수생식물이자 염생식물로 민물이 유입되는 연안습지와 기수역 그리고 담수에 이르기까지 폭넓게 생육하고 있다. 특히 어린 순은 식용과 약용으로 사용되기도 하며 신선한 잎은 말뚝게의 주요

먹이원이 되어 지역민들은 말뚝게를 '풀게'라고 부르기도 하였다. 새섬매자기 (*B. planiculmis*)는 사초과의 수생식물이자 염생식물로 주로 담수가 풍부한 하구습지나 간척지의 농경지에 출현하며 전분이 많은 괴경을 생성한다. 잎과 줄기, 열매, 괴경은 고라니, 재두루미, 큰기러기, 개리 등의 야생동물의 먹이가 되며 말뚝게도 섭식하는 것으로 관찰되었다 (한 등 2010a).

이 연구는 기수상부 장항습지에 분포하는 선버들군락의 1 차생산성과 군락 내에 정주하는 말뚝게의 2 차생산성을 추정하고 상호 연관관계를 추론하였다. 그리고 추론된 연관관계를 증명하기 위하여 선버들군락을 구성하는 주요 생물종의 탄소와 질소 안정동위원소와 지방산을 분석하여 계절에 따른 먹이그물 구조의 변화 양상을 밝히고자 하였다. 마지막으로 이러한 먹이관계가 기수상부뿐만 아니라 기수중부와 기수하부에서 계절적으로 차이를 보이는지 비교분석하였다.

연구 범위

연구의 공간적 범위는 한강하구습지보호지역 내부로서 DMZ 일원에 속하는 군사지역이다. 이 지역은 남북한간의 관계에 따라 출입이 매우 제한적이어서 먹이그물을 비롯한 생태학적 연구가 수행되지 않았다. 이 연구도 비교적 출입이 원활한 기수상부 장항습지를 중심으로 진행되었고 기수중부는 공릉천하구습지의 상류구간, 기수하부는 성동습지를

중심으로 진행되었다. 이 중 공릉천하구습지는 한강과 합류하는 합수구간은 기수하부의 염도와 식생을 보이지만 공릉천의 풍부한 담수가 유입되는 공릉천하류구간은 기수중부의 염도와 식생을 보이기 때문에 후자 (공릉천하류 구간)의 갈대 (*Phragmites australis*) 군락을 선택하였다. 기수하부는 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*) 군락이 풍부한 성동습지를 선택하였다.

연구기간은 2005 년 1 월부터 2009 년 6 월까지 진행하였으며 말뚝게가 가동면을 하는 겨울철, 군의 허가를 받지 못한 시기 등은 채집하지 않았다. 이중 선버들과 말뚝게의 생산성은 2005 년 1 월부터 2007 년 11 월까지 이루어 졌으며, 안정동위원소와 지방산은 2006 년 9 월부터 2007 년 11 월까지 4 계절 동안 진행되었고 어류에 대한 추가조사는 2008 년 1 월~ 2009 년 6 월까지 진행되었다.

연구 방법

시료채취를 위한 영구방형구 (5 x 5 m)를 장항습지 선버들 (*Salix subfragilis*) 군락, 공릉천하구습지의 갈대 (*Phragmites australis*) 군락, 성동습지의 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*) 군락에 설치하여 동물 (어류 제외), 식물, 저토를 채집하였고, 어류는 장항습지의 조수로에서 조류를 이용해 어류를 포획하는 어민들의 정치망을 이용해서 채집하였다.

1 차생산성 측정은 광합성량과 호흡량을 측정하는 직접적인 방법과 수확법, 상대생장법 (allometry) 등을 사용하며, 선버들과 같은 아교목이나 교목은 수확하기 어려우므로 상대생장법을 이용한다. 순 1 차생산성은 상대생장법으로 얻은 현존량의 금년도와 전년도의 차이로 계산한다. 또한 해당 군락의 흉고직경의 분포에서 숲의 연령을 알 수 있으며 이를 통해 성장속도를 알 수 있다. 다만, 선버들과 같은 아교목이나 관목은 표준목을 별목하여 기저직경을 이용하는 것이 일반적이며 별목하는 표준목은 방형구 밖의 것을 이용한다. 또한 버드나무류는 1 년 동안 줄기 직경이 2 cm 정도 자라는 것으로 알려져 있으며 그 평균 증가폭도 비교 대상이 된다 (Szczukowski et al. 2005).

장항습지의 선버들군락의 개체군구조는 표준목의 기저직경을 통해 파악하였다. 방형구 주변의 표준목 다수를 별목하여 줄기 기저부를 5cm 단편으로 잘라 부드러운 사포로 문지른 후에 나이트 폭을 측정하여 수령과 성장율을 추정하였다. 또한 각각의 방형구 내 출현하는 선버들의 기저직경을 전수 조사하여 선버들의 수령과 연령별 빈도수를 구하였다. 구분되는 수령대를 대표하는 크기 별로 선버들 표준목 6 개를 방형구 밖에서 선택하여 표지하였다. 이후 연간 생장이 최대가 되는 시기에 별목하여 기저직경과 수고를 측정하고 기존에 알려진 선버들 비례생장식 (allometric equation)과 환산식을 이용하여 전년도와 금년도의 부위별 현존량을 구하였다. 1 차 생산성은 금년도와 전년도 간의 부위별 현존량의 차의 합으로 간주하였고 (Larcher 1989) 이와 함께 동 실험지역에서 수집된 단위면적당 선버들의 수령대별 빈도수를 이용하였다.

말뚝게의 2 차생산성은 각 크기별 말뚝게를 매월 정성적으로 채집 한 후 말뚝게 갑각의 너비와 무게를 측정하고 이를 바탕으로 선형 관계를 추정하였다. 그리고 말뚝게의 갑각 너비 자료를 너비 10~20, 20~30, 30~40, 40 mm 이상의 4 개 크기 그룹으로 구분하여 각 개체 별 습중량과 각 크기 그룹 별 평균 너비와 습중량을 기존의 알려진 환산식을 이용하여 추정하였다. 이를 이용해서 개체군의 연간 생산성 추정식을 적용하였다. 또한 단위 면적당 말뚝게의 크기 그룹 별 밀도를 구하여 크기 그룹별 성장률과 생산성을 적용하여 말뚝게에 의해 발생하는 2 차생산성을 추정하였다.

한강하구 말뚝게의 먹이그물 구조를 밝히기 위해 안정동위원소와 지방산 biomarker 분석을 병용하였다. 생물체 내의 탄소와 질소의 안정동위원소 비율을 이용하면 정량적으로 먹이그물 구조를 파악할 수 있으며 동물체 내에서 합성되지 않는 필수지방산 중 특정한 지방산을 biomarker 로 이용하면 유기물의 근원이나 먹이 섭식 구조 등을 밝힐 수 있다. 먹이그물구조 분석은 위장 내용물 분석방법 (gut content analysis)을 사용하여 왔지만 잡식성 생물들을 정량적으로 위치지우는데는 적합하지 않고 비교적 단기간에 신속하게 먹이그물 구조를 밝히기는 어렵다. 이 때문에 먹이그물의 중요성에도 불구하고 우리나라에서는 제대로 연구되지 않고 있으나 최근 서구를 중심으로 안정동위원소를 이용하는 법이 각광받고 있다. 안정동위원소 모니터링은 각 생물 구성원의 조직에서 탄소 ($\delta^{13}\text{C}$)와 질소 ($\delta^{15}\text{N}$)의 안정동위원소비율을 측정하여 보다 객관적이고 정량적인 먹이그물 구조를 제시하는 방법이다. 이러한 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 이용한 C-N

도표에서 먹이-포식자 관계와 각 생물의 영양위치 (trophic position)를 결정할 수 있다. 이러한 먹이그물구조의 정량적인 자료는 생산성과 생물량에 대한 자료와 함께 종합하면 생태계 내의 먹이그물을 통한 에너지 흐름을 정량적으로 파악할 수 있게 해 준다. 안정동위원소를 이용하는 방법 외에 생태계 내의 섭식관계를 통해 먹이그물 구조를 파악하는 방법으로 지방산 (fatty acid) biomarker 를 이용할 수 있다. 계를 포함한 동물들은 다가불포화지방산 (polyunsaturated fatty acid; PUFA)을 일반적으로 합성하지 못하여 먹이로부터 섭취할 수밖에 없는데 이러한 다가불포화지방산을 필수지방산 (essential fatty acids)이라 부른다. 특히 다가불포화지방산 중 $\omega 3$ 다가불포화지방산은 은편모조류나 규조류 등 일부 조류에서만 생산되며 일부 지방산은 식물에서만 생산이 되므로 동물들의 체내에서는 그들이 섭식한 지방산 함량이 높아지게 되고 지방산 profile 을 비교하면 먹이관계를 파악할 수 있다. 이러한 원리를 이용하여 최근 들어 특정한 지방산을 biomarker 로 이용하여 하구 생태계 내 습지에서의 유기물의 근원이나 먹이 섭식 구조 등을 파악하는 연구가 많이 이루어지고 있다. 나아가서 안정동위원소와 지방산 biomarker 를 함께 이용하여 먹이관계나 에너지 흐름을 연구하는 경향도 나타나고 있다. 이 연구에서는 기수상부 장항습지에서 말뚝계와 선버들을 비롯한 먹이원들의 탄소와 질소 안정동위원소, 그리고 지방산 함량을 측정하여 선버들군락 내 말뚝계의 먹이그물을 밝혔으며, 기수중부와 하부에서는 말뚝계, 식물, 저토의 안정동위원소와 지방산 함량을 측정하여 기수상부지역을 포함한 3 지역에서 먹이그물을 통한 에너지흐름의 시공간적 변이를 비교하였다.

1-2. 연구지 개황

1-2-1. 한강하구의 범주와 보호지역 범위

한강하구의 상류부 기점은 기수역경계선인 김포대교 하부의 신곡수중보로 보는 견해가 일반적이며, 하류부 기점은 반폐쇄성 내만의 지형과 기수역 염분경계선 (30 psu)이 나타나는 교동도-석모도-불음도-주문도의 가상 해역선으로 보는 견해가 지배적이다 (KEI 2007).

한강하구습지보호지역은 2006 년 4 월 17 일에 습지보전법 제 8 조 제 1 항 및 제 5 항에 의해 지정되었다 (환경부 고시 제 2006-58 호). 보호지역 범위는 신곡수중보에서 강화군 송해면 송뢰리 사이의 수면부가 포함된 하천제방 및 철책선 안쪽이며, 행정구역 상으로 고양시, 파주시, 김포시, 강화군에 속해있다 (Table 1-1). 보호지역으로 지정된 면적은 총 60.668 km² 이며, 길이는 43.5 km이고 하천수역 중 북한 영토에 속하는 수역과 김포시 수역 일부 (신곡수중보에서 전류리구간)는 제외되었다 (Fig. 1-1).

Table 1-1. Protected areas by local government area of the Hangang estuary (KEI 2007)

Local governments	Area (km ²)	Rate (%)
Gimpo	22.984	37.9
Goyang	14.230	23.5
Paju	14.536	23.9
Ganghwa	8.918	14.7
Total	60.668	100.0
Remarks	National lands 97.8%, Public lands 5.0%, Private lands 1.4%, Others 0.3%	
	River 97.0%, Fields 0.7%, Forests 0.5%, Others 1.8%	



Fig. 1-1. The locations of wetland protected areas and natural monument areas in Hangang estuary (revised map. source from Han & Kim 2010)

또한 한강하구는 이동성 수조류 (migratory water birds)의 서식처로서 국제적인 중요성이 인정되어 동아시아-대양주 철새이동경로 (EAAF, East Asia - Australasia Flyway) 파트너쉽에 따라 두루미 네트워크사이트 (crane network site)로 지정되어 있다. 그리고 재두루미 (*Grus vipio*, 멸종위기종 2 급)의 월동지, 저어새 (*Platalea minor*, 멸종위기종 1 급)의 주요 번식지, 큰기러기 (*Anser fabalis*, 멸종위기종 2 급)의 월동지, 개리 (*Anser cygnoides*, 멸종위기종 2 급)의 중간기착지로서 중요성이 인정되어 국제조류보호연합 (Birdlife International)에 의해 아시아에서 '중요한 조류서식처 (Important Bird Area, IBA)'로 선정되어 있다.

1-2-2. 한강하구 습지의 분포

습지분포 조사는 습지의 출현 여부는 물론이고 출현하는 습지의 특성을 파악하여 분류하는 작업이다. 분류된 습지들은 습지의 위치, 면적, 수문, 식생, 동식물상 등에 대한 정보를 담아 목록화 (inventory)되고 해당 습지의 평가와 관리를 위해 자연적인 생태계의 범위를 설정하게 된다. 이때 동질적인 속성을 갖는 생태 단위를 기술하고, 자원관리 의사결정에 도움을 줄 수 있는 체계로 단위를 만들고, 목록작성과 지도화에 필요한 단위를 설정하며, 습지에 관한 개념과 용어의 통일성을 제공하는 것이다 (Mitch and Gosselink 1986). 한강하구의 습지분포는 2004 년 환경부 국립환경과학원 (NIER)의 하구역 정밀조사 사업에 의해 최초로 보고되었다. 그 결과 한동육 등에 의해 8 개 (장항습지, 산남습지,

곡릉천하구습지, 성동습지, 시암리습지, 임진강하구습지, 장단습지, 임진각습지)의 습지가 목록화되었고 각 습지의 경계와 명칭 (Fig. 1-2)이 제안되었으며 최초로 지도화되었다 (NIER 2005). 다만, 당시 목록화된 '곡릉천하구습지'는 2011 년에 '곡릉천' 이 '공릉천'으로 개명되어 습지명칭도 '공릉천하구습지'로 개명되었다.



Fig. 1-2. Main wetlands in the Hangang estuary (revised map. source from Han & Kim 2010).

장항습지 Janghang wetland

장항습지는 조수성 숲 (tidal forest) 습지와 초본성 습지 (marsh) (Cronk & Fennessy 2001), 그리고 하구갯벌 (estuarine tidal flat)이 나타나는 하구습지로 고양시 덕양구와 일산동구에 걸쳐있다. 기수상부에 위치해서 조수간만의 차가 있는 감조구간에 포함되지만 염도는 낮으며 담수영향이 우세한 담수조석습지 (freshwater tidal forest)로 분류하기도 한다 (NIER 2005). 우점식생은 선버들 (*Salix subfragilis*) 군락이며 교목과 아교목층에 선버들, 관목층에 갯버들 (*Salix gracilistyla*), 키버들 (*Salix koriyanagi* for. *koriyanagi*), 초본층은 갈대 (*Phragmites australis*), 여뀌 (*Persicaria hydropiper* var. *hydropiper*), 갈풀 (*Phalaris arundinacea*), 산조풀 (*Calamagrostis epigeios*) 등이 수반 종으로 나타난다. 수변부나 배후습지에는 갈대, 줄 (*Zizania latifolia*), 모새달 (*Phacelurus latifolius*), 도루박이 (*Scirpus radicans*), 천일사초 (*Carex scabrifolia*), 세모고랭이 (*Scirpus triqueter*), 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*), 산조풀 (*Calamagrostis epigeios*) 등이 출현하는 소택지 (palustrine wetland)가 나타난다. 장항습지는 과거 이 지역 거주민들을 중심으로 제한적으로 농업과 어업이 이루어져 왔기에 논, 수로, 농업용 저수지, 간이 선착장 등의 인공적인 경관요소도 함께 출현한다 (Fig. 1-3).



S. subfragilis community



P. australis community



B. planiculmis community



C. scabrifolia community



Z. latifolia community



Rice paddy

Fig. 1-3. Vegetation and land types of Janghang wetland.

산남습지 Sannam wetland

산남습지는 기수중부에 위치하며 정수식물 (emergent plant)이 우점하는 습지 (marsh)와 농경지, 하구갯벌, 소하천 합류부로 이루어져 있다. 습지 중앙부에 소하천인 장월평천이 한강 본류와 합류하며 이 소하천을 기준으로 고양시와 파주시로 양분된다. 고양시 구간은 약 100 ha 의 농경지로 전환되어 논농사가 활발하게 행해지고 있으며, 파주시 구간은 초본 우점 습지와 조수로 (tidal channel)등이 원형 그대로 보존되어 있다. 우점하는 식생은 갈대 (*Phragmites australis*) 군락, 모새달 (*Phacelurus latifolius*) 군락이며, 여뀌 (*Persicaria hydropiper* var. *hydropiper*), 세모고랭이 (*Scirpus triqueter*), 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*), 애기부들 (*Typha angustifolia*), 물피 (*Echinochloa crusgalli* var. *oryzicola*) 등이 수반종으로 나타난다. 제한적으로 논농사 행해지고 있어 논을 비롯해 용수로, 소규모 저수지 등의 인공적인 경관도 나타난다 (Fig. 1-4.).



E. crusgalli var. *oryzicola* community



P. australis community



P. australis-*P. latifolius* community



Rice paddy

Fig. 1-4. Vegetation of Sannam wetland.

공릉천하구습지 Gongreungcheon estuarine wetland

공릉천하구습지는 기수하부에 위치하며 정수식물 우점 습지, 하구갯벌, 소하천합류부 등이 나타난다. 행정구역상 파주시 교하읍 송촌리에 속한다. 공릉천 최하류부인 반달형 습지는 기수하부 식생인 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*) 군락과 함께 갈대 (*Phragmites australis*), 모새달 (*Phacelurus latifolius*), 나문재 (*Suaeda glauca*)가 수반종으로 나타나는 반면, 공릉천이 합류하여 사행하는 하도습지는 갈대군락이 우점하고 새섬매자기, 모새달 등이 수반 군락으로 나타나는

기수중부의 특성이 나타난다. 습지와 근접해서는 논, 용수로, 배수로, 저류지 등의 인공 경관이 나타난다. 이곳은 한강하구 재두루미도래지(천연기념물 제 250 호 지역)가 포함되어 있다 (Fig. 1-5).

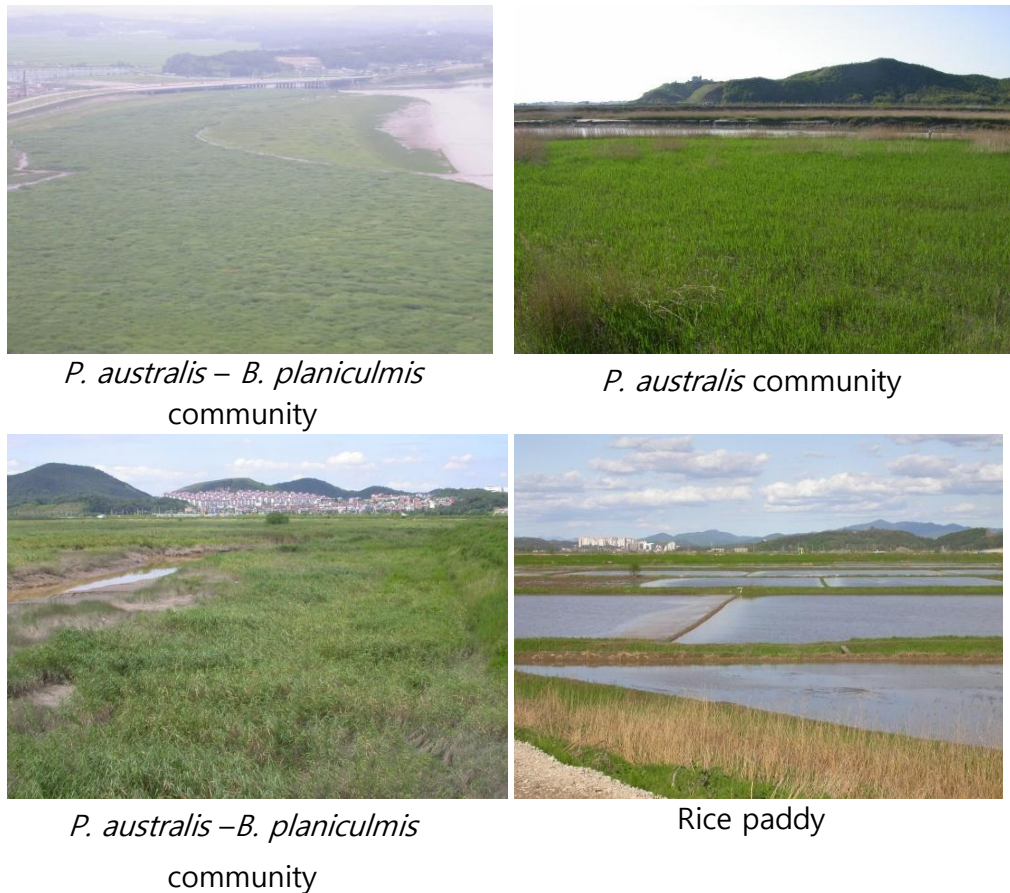


Fig. 1-5. Vegetation of Gongreungcheon estuarine wetland.

성동습지 Seongdong wetland

성동습지는 기수하부에 속하는 습지로서 정수식물 우점 습지와 삼각주, 하구갯벌이 나타나고 있다. 행정구역은 파주시 성동리와

대동리에 속한다. 이 구간 중에 성동리구간은 주기적으로 침식과 퇴적이 반복되어 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*) 군락이 변화가 심한 반면 대동리구간은 새섬매자기 군락이 안정되어 있고 한강하구에서 최대면적의 새섬매자기 순군락이 나타난다. 표고가 높은 제방근처는 모새달 (*Phacelurus latifolius*), 갈대 (*Phragmites australis*) 군락이 나타나고 조수로가 발달해있다 (Fig. 1-6).



Fig. 1-6. Vegetation of Seongdong wetland.

시암리습지 Siamri wetland

시암리습지는 기수하부지역에 속하며 정수식물 우점 습지와 하구갯벌, 조수로가 포함되어 있다. 1970년대까지는 나문재 (*Suaeda glauca*), 칠면초 (*Suaeda japonica*) 등 염생식물 군락이 발달하였지만 현재는 모새달 (*Phacelurus latifolius*)과 갈대 (*Phragmites australis*)가 군락을 이루고 있다 (Fig. 1-7). 군부대에 의해 엄격히 통제되고 있어 쌍안경이나 목걸이 조사만 가능하였다.

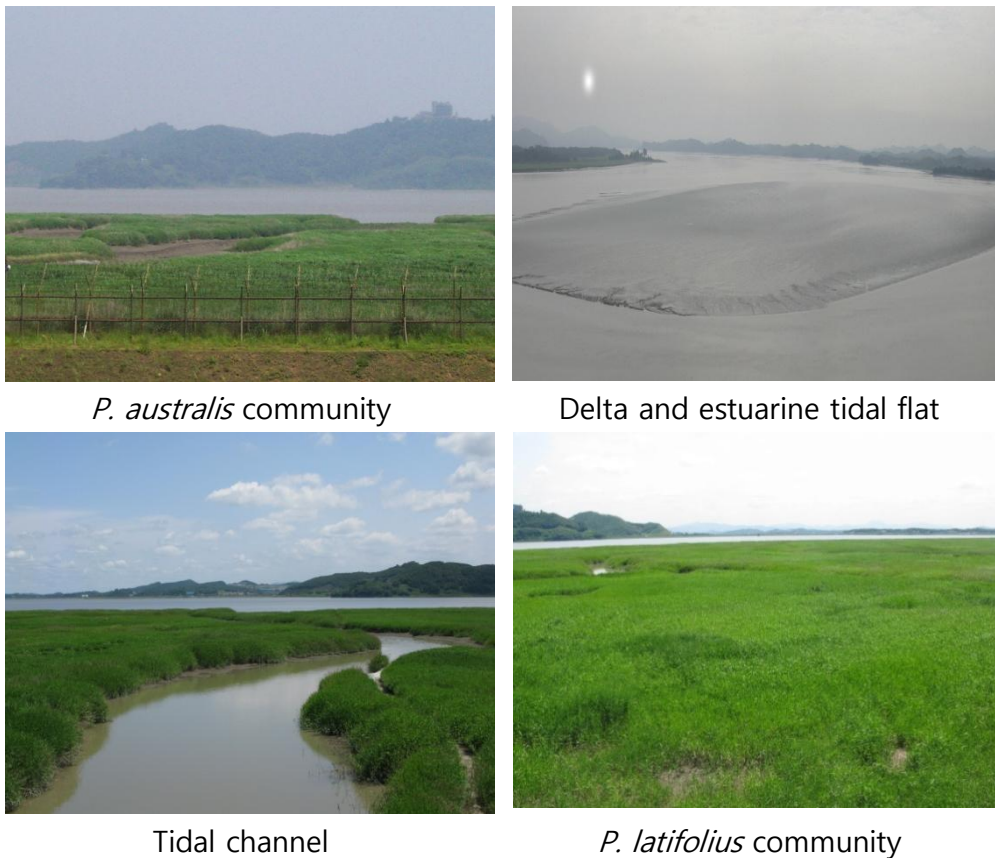


Fig. 1-7. Vegetation of Siamri wetland.

임진강하구습지 Imjinggang estuarine wetland

임진강하구습지는 임진강과 한강이 만나는 기수하부지역에 속하며 정수식물이 우점하는 습지가 임진강 어귀에 발달하였으나 대부분 농경지로 개간되었다. 강을 따라 북쪽은 하천습지가 발달하고 남쪽은 농경지 (논)와 소하천, 조수로, 장군못이라는 연못이 분포하고 있다. 우점군락은 갈대 (*Phragmites australis*)이며 모새달 (*Phacelurus latifolius*)이 수반되어 나타난다 (Fig. 1-8).



Rice paddy and riverine wetland



Small stream



Tidal channel



Janggun pond

Fig. 1-8. Vegetation of Imjingang estuarine wetland.

장단습지 Jangdan wetland

임진강하류의 장단반도앞에 발달한 하도습지 (riverine wetland)로서 임진강의 담수영향으로 기수중부의 특징을 가지고 있다. 갈대 (*Phragmites australis*) 군락이 우점하며 모새달 (*Phacelurus latifolius*)이 함께 출현하고 있다 (Fig. 1-9).



Rice paddy and riverine wetland



Estuarine tidal flat



Imjin river

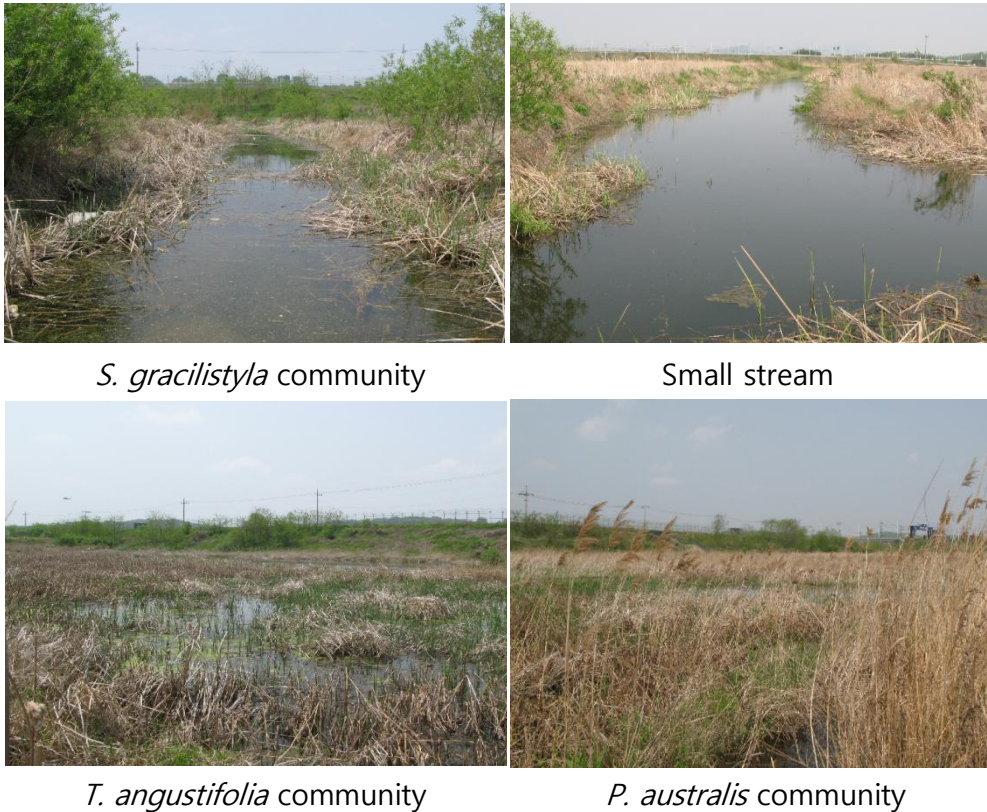


Black vulture feeding area

Fig. 1-9. Land type of Jangdan wetland.

임진각습지 Imjingak wetland

임진각과 임진강사이에 발달한 배후습지 (backswamp)와 임진강변에 발달한 하도습지로 이루어져 있으며 임진강으로 합류하는 소하천 하부에 발달한 습지이다. 갈대 (*Phragmites australis*) 군락이 우점하고 갯버들 (*Salix gracilistyla*), 애기부들 (*Typha angustifolia*)이 수반종으로 출현한다 (Fig. 1-10).



. Fig. 1-10. Land type of Imjingak wetland.

1-2-3. 한강하구 동물 서식처 계획

한강하구 동물 서식처 계획은 2007 년 UNDP/GEF 국가습지사업단의 의뢰를 받아 한동욱 등이 작성하였으며, 목록화된 습지 7 개를 중심으로 하는 습지권역 (장항습지권역, 산남습지권역, 공릉천하구권역, 성동습지권역, 임진강하구습지권역, 장단습지권역, 임진각습지권역)과 무인도인 유도권역을 포함시켜 총 8 개의 서식처 권역 (Fig. 1-11)으로 구별하였다 (UNDP/GEF KWP (unpublished data)). 각 권역별 중요 동물종의 서식현황과 서식처의 지리적 범위 등을 구별하여 출현종을 표시 하였으며 (Table 1-2), 이후 환경부 한강유역환경청의 한강하구습지보호지역 모니터링 결과를 포함하여 수정, 정리하였다.

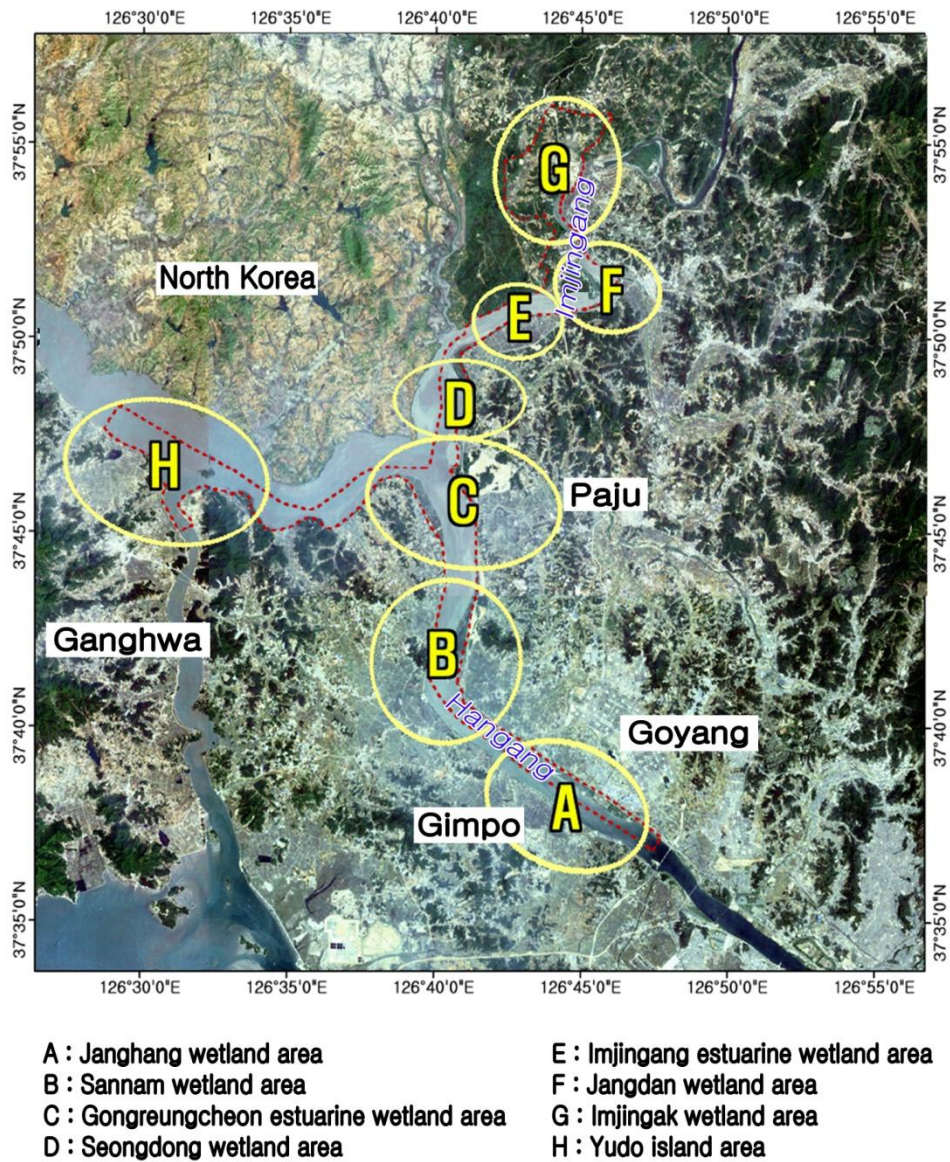


Fig. 1-11. Map of habitat of Water bird and endangered species in Hangang estuary (source from UNDP/GEF KWP (unpublished). Illustrated by HAN Donguk).

장항습지 권역 (A)

장항습지권역은 김포대교와 일산대교 사이에 속하는 선버들 (*Salix subfragilis*) 우점습지와 수역을 포함하는 지역이다. 이 권역은 고양시측 수역의 경우 1998 년까지 골재채취가 이루어 졌으며, 김포시측 수역은 현재까지도 일부구간이 준설되고 있다. 장항습지의 겨울철 주요 조류는 재두루미 (*Grus vipio*)와 큰기러기 (*Anser fabalis*)로서 주요 먹이터는 과거 김포시 홍도평이었으나 최근은 장항습지내 농경지와 인천시 이화동과 평동, 부천시 대장동 등이며 최근 일산신도시 주변 논에서도 먹이를 섭취하고 있다. 조사기간 동안 이 지역에서 기록된 멸종위기종은 총 22 종이며 재두루미, 큰기러기를 비롯해서 저어새 (*Platalea minor*), 흰꼬리수리 (*Haliaeetus albicilla*), 매 (*Falco peregrinus*), 개리 (*Anser cygnoides*), 가창오리 (*Anas formosa*), 물수리 (*Pandion haliaetus*), 큰말뚝가리 (*Buteo hemilasius*), 흑두루미(*Grus monacha*), 검은목두루미 (*Grus grus*), 큰고니 (*Cygnus cygnus*), 흰목물떼새 (*Charadrius placidus*), 솔개 (*Milvus migrans*), 참매 (*Accipiter gentilis*), 독수리 (*Aegypius monachus*), 새매 (*Accipiter nisus*), 뜸부기 (*Gallicrex cinerea*), 비둘기조롱이 (*Falco amurensis*), 붉은발말뚝게 (*Sesarma intermedia*), 삥 (*Felis bengalensis euptilura*), 맹꽁이 (*Kaloula borealis*) 등이었다. 기타 주요동물로서 천연기념물 원앙 (*Aix galericulata*), 황조롱이 (*Falco tinnunculus*)가 기록되었고 IUCN 의 적색목록종인 고라니 (*Hydropotes inermis*)가 약 100 여마리 기록되었다. 십각류는 멸종위기종인 붉은발말뚝게이외에 말뚝게 (*Sesarma dehaani*), 펄콩게 (*Ilyoplax deschampsii*), 참게 (*Eriocheir sinensis*) 등이 출현하였다. 봄철에는

괭이갈매기 (*Larus crassirostris*), 재갈매기 (*L. argentatus*), 붉은부리갈매기 (*L. ridibundus*), 한국재갈매기 (*L. cachinnans*) 등 갈매기류와 잠수성오리인 댕기흰죽지 (*Aythya fuligula*), 흰죽지 (*Aythya ferina*), 비오리 (*Mergus merganser*), 흰비오리 (*Mergus albellus*) 등이 출현하였다. 가을철에는 멸종위기종인 큰기러기, 개리 등을 비롯해서 쇠기러기 (*Anser albifrons*), 흰기러기 (*Anser caerulescens*) 등 기러기류가 겨울철까지 월동하며, 여름철에는 해오라기 (*Nycticorax nycticorax*), 흰날개해오라기 (*Ardeola bacchus*), 쇠백로 (*Egretta garzetta*), 중대백로 (*Egretta alba modesta*), 황로 (*Bubulcus ibis*) 등의 백로류와 호사도요 (*Rostratula benghalensis*)와 같은 도요류가 출현하였으며 버드나무숲 안에서는 해오라기, 백로류의 번식지가 있었다.

산남습지권역 (B)

산남습지권역은 고양시 구산동과 파주시 산남리, 그리고 김포시 전류리 수역을 포함하는 한강수역이다. 인근에 백로번식지 (김포 모담산)가 있다.

산남습지권역에서 기록된 멸종위기종은 16 종이었으며 저어새 (*Platalea minor*), 노랑부리저어새 (*P. leucorodia*), 흰꼬리수리 (*Haliaeetus albicilla*), 개리 (*Anser cygnoides*), 큰기러기 (*Anser fabalis*), 가창오리 (*Anas formosa*), 재두루미 (*Grus vipio*), 독수리 (*Aegypius monachus*), 물수리 (*Pandion haliaetus*), 흑두루미 (*Grus monacha*), 잿빛개구리매 (*Circus cyaneus*), 큰말똥가리 (*Buteo hemilasius*), 붉은발말똥개 (*Sesarma intermedia*), 뜸부기 (*Gallicrex cinerea*), 삥 (*Felis bengalensis euphilura*)

등이었다. 산남습지는 고양시와 파주시가 접하는 습지로서 장월평천으로 나누어져 있다. 고양시구역은 약 100 ha 의 농경지로, 파주시 구간은 대규모 갈대 (*Phragmites australis*) 군락과 모새달 (*Phacelurus latifolius*) 군락으로 유지되고 있다. 고양시권역의 농경지에서는 한강하구에서 최초로 붉은발말뚝게가 채집되기도 하였으며 말뚝게 (*Sesarma dehaan*)와 참게 (*Eriocheir sinensis*)가 출현하였다. 천연기념물 황조롱이와 IUCN 적색목록종인 고라니 (*Hydropotes inermis*)가 번식하였다.

공릉천하구권역 (C)

공릉천하구권역은 파주시 송촌리 송촌대교 아래 반달형 습지와 갯벌, 그리고 송촌리 농경지와 공릉천하류 지역, 그리고 김포시 시암리습지지역을 포함한다. 시암리습지지역은 김포시 석탄리, 후평리, 시암리에 이르는 수변과 한강수역을 포함한다. 시암리습지지역은 1980년대 초반 재두루미 (*Grus vipio*) 2000여마리가 서식하는 것이 조류학자들에게 관찰되면서 이 일대가 한강하구 재두루미도래지로 천연기념물 제 250호로 지정되는데 결정적인 계기를 제공한 곳이다. 1993년에는 850마리의 재두루미가 기록되었고 1996년에 개리 (*Anser cygnoides*)는 1800마리가 기록되어 있던 곳이다. 공릉천하구 인근 검단산에서는 수리부엉이 (*Bubo Bubo*)가 번식하고 있다. 공릉천하구권역에서 관찰된 멸종위기종은 18종이었고 개리, 재두루미를 비롯해서 저어새 (*Platalea minor*), 매 (*Falco peregrinus*),

노랑부리저어새 (*Platalea leucorodia*), 흰꼬리수리 (*Haliaeetus albicilla*), 큰기러기 (*Anser fabalis*), 가창오리 (*Anas formosa*), 독수리 (*Aegypius monachus*), 참매 (*Accipiter gentilis*), 물수리 (*Pandion haliaetus*), 흑두루미 (*Grus monacha*), 두루미 (*Grus japonensis*), 비둘기조롱이 (*Falco amurensis*), 뜰부기 (*Gallicrex cinerea*), 금개구리 (*Rana plancyi*), 삥 (*Felis bengalensis euptilura*), 붉은발말뚝게 (*Sesarma intermedia*) 등 이었다. 공룡천하구의 재두루미는 주로 곡룡천하구습지를 휴식지로, 송촌리농경지와 공룡천 하류의 하도습지를 먹이터로 이용하고 있다. 반달형습지와 이어지는 공룡천하구에는 말뚝게 (*Sesarma dehaan*), 방게 (*Helice tridens*), 펄콩게 (*Ilyoplax deschamps*), 참게 (*Eriocheir sinensis*) 등이 출현하였다. 상류방향의 송촌리 농경지 근처 습지에는 담수영향이 커서 주로 말뚝게가 출현하고 있다.

성동습지권역 (D)

성동습지권역은 파주시 성동리와 대동리의 수변과 농경지, 한강수역을 포함하는 지역이다. 주요종은 개리 (*Anser cygnoides*)로 2006 년 최대 800 여마리가 관찰되어 국내 최대 도래지로 기록되었으며 인식표지에 의해서 러시아, 중국 등에서 성동습지로 이동해 오는 개체군이라는 것을 알 수 있었다. 재두루미 (*Grus vipio*)는 최대 400 여마리가 관찰되었으며 저어새 (*Platalea minor*)는 2006 년에 최대 40 여마리가 관찰되었다. 성동습지권역에서 관찰된 멸종위기종은 13 종으로 개리와 재두루미, 저어새를 비롯해서 노랑부리저어새 (*Platalea leucorodia*), 매 (*Falco*

peregrinus), 흰꼬리수리 (*Haliaeetus albicilla*), 큰기러기 (*Anser fabalis*), 가창오리 (*Anas formosa*), 독수리 (*Aegypius monachus*), 수리부엉이 (*Bubo Bubo*), 물수리 (*Pandion haliaetus*), 흑두루미 (*Grus monacha*), 큰고니 (*Cygnus cygnus*) 등이었다. 대동리구간의 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*) 군락은 개리와 재두루미들이 가을철에 집중적으로 이용하는 습지이나 군사용도로, 배수로공사 등으로 습지가 육화되어 갈대 (*Phragmites australis*)가 급속히 늘어나고 있으며 상대적으로 새섬매자기군락이 줄어들고 있다. 성동습지 주변에 출현하는 십각류는 주로 펄콩게 (*Ilyoplax deschampsii*)이며 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)는 전체 한강하구 구간중에 가장 적은 개체수가 출현하였다.

임진강하구습지권역 (E)

파주시 오금리일대의 임진강변과 농경지, 만우천, 장군못 등의 습지와 북한이 사천천이 합류하는 수변부를 말한다. 오금리일대는 멸종위기종 뜸부기 (*Gallicrex cinerea*)의 번식이 지속적으로 관찰되고 있다. 임진강하구습지권역에서 기록된 멸종위기종은 총 13 종이며 뜸부기를 비롯해서 저어새 (*Platalea minor*), 두루미 (*Grus japonensis*), 흰꼬리수리 (*Haliaeetus albicilla*), 큰기러기 (*Anser fabalis*), 독수리 (*Aegypius monachus*), 큰고니 (*Cygnus cygnus*), 개리 (*Anser cygnoides*), 재두루미 (*Grus vipio*), 참매 (*Accipiter gentilis*), 새홀리기 (*Falco subbuteo*), 잣빛개구리매 (*Circus cyaneus*), 구렁이 (*Elaphe s. schrenckii*) 등이다. 과거

매우 큰 임진강어귀늪이 있었으나 농경지로 점용되어 습지복원이 필요한 곳이다.

장단습지권역 (F)

장단습지권역은 파주시 장단반도, 임진강수변부 및 문산천하구습지 등으로 포함한다. 장단습지권역에서 기록된 멸종위기종은 12 종이며 저어새 (*Platalea minor*), 노랑부리저어새 (*Platalea leucorodia*), 흰꼬리수리 (*Haliaeetus albicilla*), 두루미 (*Grus japonensis*), 큰기러기 (*Anser fabalis*), 개리 (*Anser cygnoides*), 가창오리 (*Anas formosa*), 재두루미 (*Grus vipio*), 물수리 (*Pandion haliaetus*), 독수리 (*Aegypius monachus*), 흑두루미 (*Grus monacha*), 큰고니 (*Cygnus cygnus*) 등이다. 겨울철 장단반도습지 내에서는 독수리 월동기에 인공먹이 공급 (artificial feeding)이 지속적으로 이루어 지고 있다.

임진각습지권역 (G)

파주시 임진각 주변의 임진강변 하도습지와 주변 범람원성 배후습지를 포함한다. 기록된 멸종위기종은 총 14 종이며 두루미 (*Grus japonensis*), 흰꼬리수리 (*Haliaeetus albicilla*), 매 (*Falco peregrinus*), 개리 (*Anser cygnoides*), 큰기러기 (*Anser fabalis*), 가창오리 (*Anas formosa*), 재두루미 (*Grus vipio*), 독수리 (*Aegypius monachus*), 물수리 (*Pandion haliaetus*), 흑두루미 (*Grus monacha*), 검은목두루미 (*Grus grus*), 큰고니 (*Cygnus*

cygnus), 참매 (*Accipiter gentilis*), 잿빛개구리매 (*Circus cyaneus*) 등이었다. 임진각 관광지 개발로 습지가 많이 축소되고 있으나 멸종위기종 금개구리 (*Rana plancyi*)의 출현빈도가 높아 보호대책이 필요한 습지였다.

유도권역 (H)

유도권역은 김포시에 속한 유도와 유도의 번식조류가 이용하는 강화북단의 월곶리, 옥림리의 농경지를 포함한다. 유도의 경우 한때 거주민이 있었으나 현재는 무인도이며 정상 30m 를 기준으로 한강과 서해로 나뉜다. 유도에서 번식 기록이 있는 조류는 저어새 (*Platalea minor*) 최대 200 쌍 이상, 한국재갈매기 (*Larus cachinnans*) 최대 100 쌍, 민물가마우지 (*Phalacrocorax carbo*) 최대 200 쌍, 왜가리 (*Ardea cinerea*) 최대 150 쌍, 쇠백로 (*Egretta garzetta*), 최대 20 쌍 이상, 해오라기 (*Nycticorax nycticorax*) 최대 10 쌍 이상, 중대백로 (*Egretta alba modesta*) 최대 2 쌍 이상, 황로 (*Bubulcus ibis*) 최대 1 쌍 이상 등이었다. 출현하는 멸종위기종은 3 종으로 저어새를 비롯해 솔개 (*Milvus migrans*), 개리 (*Anser cygnoides*)이다.

Table 1-2. Indicator species and endangered species of main habitat in Hangang estuary (source from UNDP/GEF KWP unpublished data. Revised by HAN Donguk)

Habitat	Indicator species	Endangered species
Janghang wetland area	<i>Anser fabalis</i> <i>Grus vipio</i> <i>Anser cygnoides</i> <i>Platalea minor</i> <i>Hydropotes inermis</i> <i>Sesarma dehaani</i>	<i>Anser fabalis</i> , <i>Grus vipio</i> , <i>Anser cygnoides</i> , <i>Platalea minor</i> , <i>Haliaeetus albicilla</i> , <i>Falco peregrinus</i> , <i>Anas formosa</i> , <i>Pandion haliaetus</i> , <i>Buteo hemilasius</i> , <i>Grus monacha</i> , <i>Grus grus</i> , <i>Cygnus cygnus</i> , <i>Charadrius placidus</i> , <i>Milvus migrans</i> , <i>Accipiter gentilis</i> , <i>Aegypius monachus</i> , <i>Accipiter nisus</i> , <i>Gallicrex cinerea</i> , <i>Sesarma intermedia</i> , <i>Felis bengalensis euptilura</i> , <i>Kaloula borealis</i> , <i>Falco amurensis</i> (22 species)
Sannam wetland area	<i>Anser fabalis</i> <i>Grus vipio</i> <i>Platalea minor</i> <i>Anser cygnoides</i> <i>Sesarma dehaani</i>	<i>Platalea minor</i> , <i>Platalea leucorodia</i> , <i>Haliaeetus albicilla</i> , <i>Anser cygnoides</i> , <i>Anser fabalis</i> , <i>Anas formosa</i> , <i>Grus vipio</i> , <i>Aegypius monachus</i> , <i>Pandion haliaetus</i> , <i>Grus monacha</i> , <i>Circus cyaneus</i> , <i>Anser cygnoides</i> , <i>Buteo hemilasius</i> , <i>Gallicrex cinerea</i> , <i>Sesarma intermedia</i> , <i>Felis bengalensis euptilura</i> (16 species)
Gongreu ngcheon estuarine wetland area	<i>Anser fabalis</i> <i>Anser cygnoides</i> <i>Platalea minor</i> <i>Grus japonensis</i> <i>Sesarma dehaani</i>	<i>Platalea minor</i> , <i>Falco peregrinus</i> , <i>Platalea leucorodia</i> , <i>Haliaeetus albicilla</i> , <i>Anser cygnoides</i> , <i>Anser fabalis</i> , <i>Anas formosa</i> , <i>Grus vipio</i> , <i>Aegypius monachus</i> , <i>Accipiter gentilis</i> , <i>Pandion haliaetus</i> , <i>Grus monacha</i> , <i>Grus japonensis</i> , <i>Gallicrex cinerea</i> , <i>Falco amurensis</i> , <i>Rana plancyi</i> , <i>Felis bengalensis euptilura</i> , <i>Sesarma intermedia</i> (18 species)

Seongdo ng wetland area	<i>Anser fabalis</i> <i>Anser cygnoides</i> <i>Grus vipio</i> <i>Platalea minor</i> <i>Sesarma dehaani</i>	<i>Platalea minor</i> , <i>Platalea leucorodia</i> , <i>Falco peregrinus</i> , <i>Haliaeetus albicilla</i> , <i>Anser cygnoides</i> , <i>Anser fabalis</i> , <i>Anas formosa</i> , <i>Grus vipio</i> , <i>Aegypius monachus</i> , <i>Bubo Bubo</i> , <i>Pandion haliaetus</i> , <i>Grus monacha</i> , <i>Cygnus cygnus</i> (13 species)
Imjingga ng estuarine wetland	<i>Anser fabalis</i> <i>Platalea minor</i> <i>Grus japonensis</i> <i>Grus vipio</i>	<i>Platalea minor</i> , <i>Grus japonensis</i> , <i>Haliaeetus albicilla</i> , <i>Anser fabalis</i> , <i>Aegypius monachus</i> , <i>Cygnus cygnus</i> , <i>Anser cygnoides</i> , <i>Grus vipio</i> , <i>Accipiter gentilis</i> , <i>Falco subbuteo</i> , <i>Circus cyaneus</i> , <i>Gallicrex cinerea</i> , <i>Elaphe s. schrenckii</i> (13 species)
Jangdan wetland area	<i>Anser fabalis</i> <i>Anser cygnoides</i> <i>Grus vipio</i> <i>Platalea minor</i>	<i>Platalea minor</i> , <i>Platalea leucorodia</i> , <i>Haliaeetus albicilla</i> , <i>Grus japonensis</i> , <i>Anser fabalis</i> , <i>Anser cygnoides</i> , <i>Anas formosa</i> , <i>Grus vipio</i> , <i>Pandion haliaetus</i> , <i>Aegypius monachus</i> , <i>Grus monacha</i> , <i>Cygnus cygnus</i> (12 species)
Imjingak wetland area	<i>Anser fabalis</i> <i>Grus vipio</i> <i>Grus japonensis</i> <i>Anser cygnoides</i>	<i>Grus japonensis</i> , <i>Haliaeetus albicilla</i> , <i>Falco peregrinus</i> , <i>Anser fabalis</i> , <i>Anser cygnoides</i> , <i>Anas formosa</i> , <i>Grus vipio</i> , <i>Aegypius monachus</i> , <i>Pandion haliaetus</i> , <i>Grus monacha</i> , <i>Grus grus</i> , <i>Cygnus cygnus</i> , <i>Accipiter gentilis</i> , <i>Circus cyaneus</i> (14 species)
Yudo island area	<i>Platalea minor</i> <i>Anser cygnoides</i>	<i>Platalea minor</i> , <i>Milvus migrans</i> , <i>Anser cygnoides</i> (3 species)

1-2-4. 기수역 상중하부의 대표 식생 구분

한강하구는 기수역의 길이가 길고 인위적인 구조물로 단절되지 않아서 식생에 따른 기수역의 세분이 가능하다. 2004 년 환경부 국립환경과학원 (NIER)의 하구역 정밀조사 결과보고서에서 한동욱 등이 제안한 기수역 상부, 중부, 하부의 구분 식생을 기반으로 다음과 같이 수정 보완하였다.

상관 (physiognomy)에 의한 식생구분

한강하구 기수역의 대표 식생은 상관에 의하여 기수상부의 선버들 (*Salix subfragilis*) 군락, 기수중부의 갈대 (*Phragmites australis*) 군락, 기수하부의 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*) 군락으로 구별되었다 (Fig. 1-12). 기수상부는 염도 0 ~ 0.5 psu 이며, 중부는 염도 0.5 ~ 2.8 psu 전후 이고, 하부는 염도 2.8 ~ 8.2 psu 이다 (박 2004). 담수구간은 신곡수중보로 인해 해수가 더 이상 염도에 영향을 주지 않는 평균 염도 0 psu 인 구간으로 기수상부에서 상류방향에 설정하였으며, 염습지구간은 담수의 영향이 약하고 해수의 영향이 강하여 염생식물 (halophytes)만 출현하는 8.2 psu 이상인 연안방향으로 구간을 설정하였다 (Fig. 1-13).



Salix subfragilis community at Janghang wetland, upper brackish water zone



Phragmites communis community at Sannam wetland, Middle brackish water zone



Phragmites communis community at Gongreungcheon wetland, Middle brackish water zone



Bolboschoenus planiculmis community at Seongdong wetland, lower brackish water zone

Fig. 1-12. Indicator community of brackish water zone in Hangang estuary.

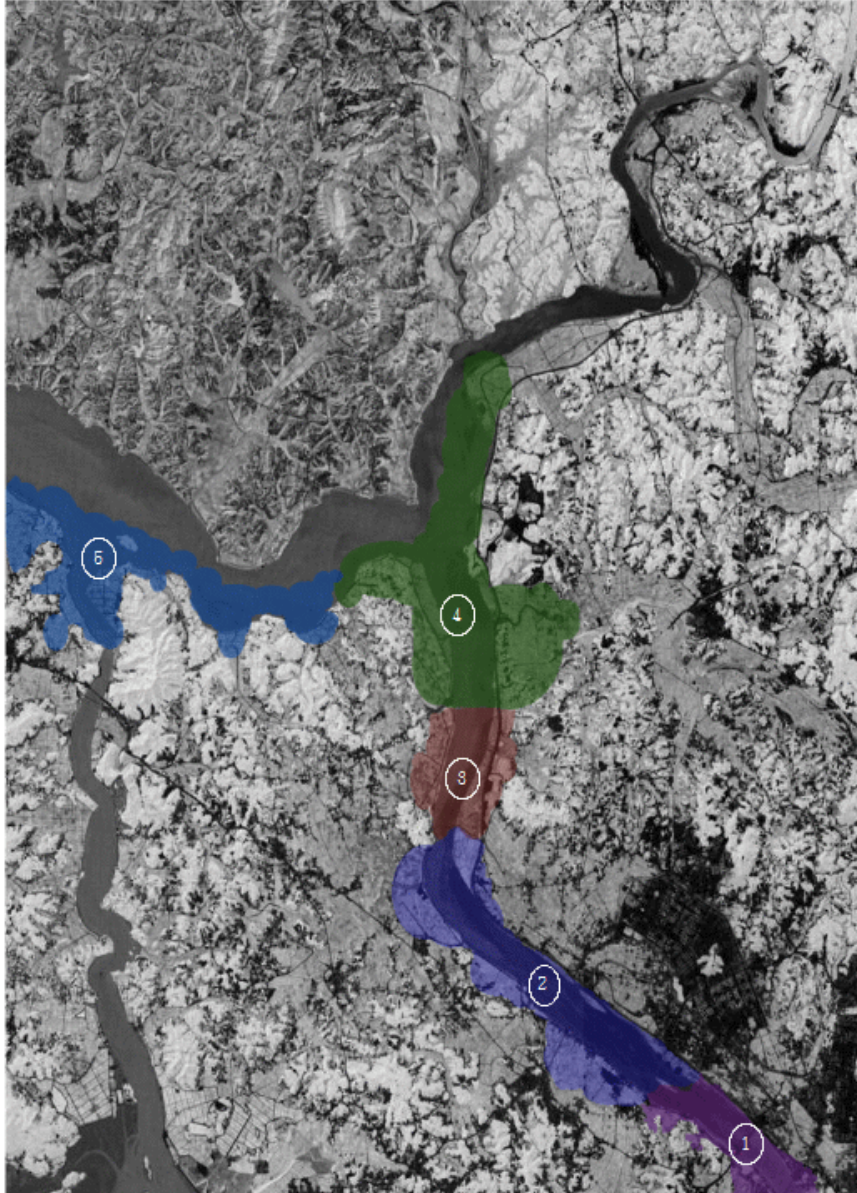


Fig. 1-13. Zonation of brackish water zone in Hangang estuary according to physiognomy ; ① Fresh water zone ② Upper brackish water zone ③ Middle brackish water zone ④ Lower brackish water zone ⑤ Salt marsh zone (Modified from NIER 2005).

기수상부 선버들군락은 조석에 영향을 받아 만조시 최대수심 50 cm ~ 간조시 최하수심 -50 cm 를 보이고 있으며 주기적으로 침수되는 특징을 가지고 있다. 선버들군락내에는 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)의 서식굴이 나타나며 담수구간에서는 선버들군락은 출현하지만 말뚝게 서식굴은 출현하지 않는다. 기수중부 갈대군락은 조수로가 발달하고 조수로 주변으로 말뚝게 서식굴이 집중적으로 나타난다. 갈대군락은 담수역에서부터 기수 상부, 중부, 하부, 염습지까지 폭넓게 분포하고 있으나 그 중 기수중부에서 가장 대규모로 출현한다. 기수하부 새섬매자기군락은 만조시에는 항상 침수되고 표고가 비교적 낮으며 말뚝게의 서식굴이 균일하게 분포한다. 새섬매자기는 대형조류와 포유류의 먹이가 되는 사초과 식물로 기수 상부, 중부, 하부에 모두 출현하지만 기수하부에서 대규모의 군락을 이룬다. 새섬매자기는 가을철에 주로 전분이 많은 지하경을 생성하는데 개리 (*Anser cygnoides*)와 큰기러기 (*Anser fabalis*), 재두루미 (*Grus vipio*) 등 이동성 수조류나 고라니 (*Hydropotes inermis*)의 식이식물이다. 기수상부보다 위쪽은 버드나무 (*Salix koreensis*)군락이 우점하고 갯버들 (*Salix gracilistyla*)이 아우점하는 담수구간이 나타나며 말뚝게가 매우 드물게 나타났고, 기수하부보다 아래쪽은 나문재 (*Suaeda glauca*)가 우점하며 말뚝게의 개체수는 줄고 농게 (*Uca arcuata*)가 주로 출현한다 (Table 1-3).

Table 1- 3. Location of sub-brackish water zone

Zo ne	Zonation	wetlands	Location	Vegetation	Remark
1	Fresh water	Haengju wetland	Goyang Haengju	<i>Salix koreensis</i> <i>Salix gracilistyla</i>	Under water weir
		Gangseo Wetland	Seoul Banghwa	<i>Phragmites</i> <i>australis</i> <i>Salix gracilistyla</i>	Under water weir
		Jeonhori	Gimpo Jeonho~poong ok	Rice paddy	Under water weir
2	Upper brackish water	Janghang wetland	Goyang Janghang Shinpyong	<i>Salix</i> <i>subfragilis</i> <i>Phragmites</i> <i>australis</i> <i>Bolboschoenus</i> <i>planiculmis</i>	Habitat of <i>Sesarma</i> <i>dehaani</i> (accessible)
		Songpo plain	Goyang Songpo	Rice paddy	Peri-urban
		Hongdo plain	Gimpo Hyansan~Geolpo	Rice paddy	Peri-urban
		Woonyang plain	Gimpo Woonyang ~Noosan	Rice paddy	Peri-urban
3	Middle brackish water	Sannam wetland	Paju Sannam, Goyang Gusan	<i>Phragmites</i> <i>australis</i> <i>Bolboschoenus</i> <i>planiculmis</i>	Habitat of <i>Sesarma</i> <i>dehaani</i> (cannot accessible)
		Pajubook city wetland	Paju Moonbal	<i>Zizania latifolia</i> , <i>Typha</i> <i>orientalis</i> ,	backswamp

			<i>Phragmites australis</i>		
			Jeonryu plain	Gimpo Jeonryu ~ Seoktan	Rice paddy Rural area
4	Lower brackish water	Gongreung cheon estuarine wetland	Paju Songchon	<i>Phragmites australis</i> (upper)	Upper area is middle brackish water
				<i>Bolboschoenus planiculmis</i> (lower)	Habitat of <i>Sesarma dehaani</i> (accessible)
		Seongdong wetland	Paju Seongdong, Daedong, Mannu	<i>Bolboschoenus planiculmis</i>	Habitat of <i>Sesarma dehaani</i> (Limited accessible)
			Siamri wetland	Gimpo Hoopyeong ~Siam	<i>Phragmites australis</i> <i>Phacelurus latifolius</i> Tidal channel
5	Salt marsh	Yudo island	Gimpo Yudo~ Bogugot	<i>Quercus acutissima</i> <i>Suaeda glauca</i> <i>Phragmites australis</i>	No entry
		Okrinri plain	Ganghwa Okrim	Rice padd ㅊ	Tidal channel
					<i>Bolboschoenus planiculmis</i> <i>Suaeda glauca</i>

제2장

장항습지 선버들 (*S. subfragilis*)의 1차생산성과 말뚝게 (*S. dehaani*)의 2차생산성

Primary Productivity of *Salix subfragilis* and Secondary
Productivity of *Sesarma dehaani* at Janghang Wetland

2-1. 서론

조석이 있는 기수역의 목본성 습지생태계에 우점하는 목본의 생장량 및 생산성에 대한 연구는 주로 열대나 아열대지역의 맹그로브 습지에 집중되어 있으며, 특히 게와 맹그로브류의 상호관계에 집중되어 있다 (Lee 1998). Lee (1998)의 종설에 따르면 인도양, 태평양 지역의 맹그로브 습지에서 *Sesarma* 속 게는 유기물을 분해하여 배설물형태로 맹그로브 잎 생산의 24%를 저토로 보내는 기능을 한다 (Lee 1997). 이 배설물은 처음에는 질소함유량이 아주 낮으나 2 주가 지나면 높아지고 탄닌 함량이 낮아져서 맹그로브 먹이그물에 중요한 양질의 유기물원이 된다 (Lee 1997). 또한 Grapsid 종류 게들은 맹그로브 진흙에 서식굴을 파서 공기가 통하게 하여 생산성을 높이는 것으로 보인다 (Smith et al. 1991). 이러한 여러 기능 때문에 이 게들이 맹그로브 생태계의 핵심종이라 주장되었다 (Smith et al. 1991). 많은 증거들로부터 Grapsid 종류 게를 포함한 맹그로브 게 (mangrove crab)들과 맹그로브는 서로 상호 호혜적이며 서로의 활력과 생존에 깊은 영향을 주고 있다고 주장하였다 (Vanninia et al. 1997 ; Lee 1998 ; Kristensen and Alongi 2006). 하지만 한반도의 기수역에 나타나는 목본성 습지와 그 곳에 서식하는 게의 상호관계에 대한 연구는 한강하구 조사보고서 (고양시 2005)에 기재된 이후 지금까지 학계에는 보고되지 않았다. 또한 버드나무군락에 대한 연구도 주로 수분, 잡종형성, 종자의 산포, 유묘의 정착과 성장, 개체군 동태 등의 연구 (Argus 1974 ; Densmore and Zasada 1983 ; Niiyama

1987 ; Bishop and Chapin 1989 ; Beerling 1998 ; 이 2002)와 한국 내 하천변 버드나무속의 군집구조 및 동태에 관한 연구 (이 2002) 등으로 국한되어 있다. 이 연구에서는 국가습지보호지역으로 지정되어 있는 한강하구 장항습지에서 선버들 (*Salix subfragilis*) 군락과 그 하부에 서식하는 말뚝계 (*Sesarma dehaani*)와의 상호관계 규명에 필요한 기초자료로서 선버들군락의 연간 생산성, 장항습지 내부의 외생과 내생유기물의 공급량, 그리고 말뚝계의 현존량과 생산성을 추정하였다.



Fig. 2-1. *Salix subfragilis* community.

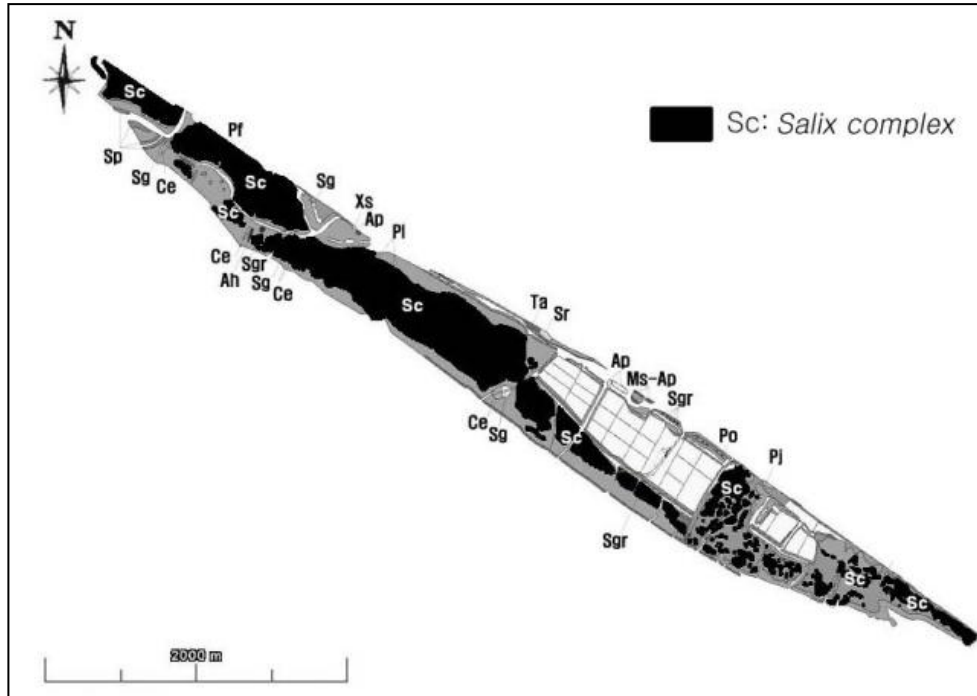
2-2. 재료 및 방법

2-2-1. 연구 장소 및 시료 채취

한강하구는 한반도의 DMZ 권역과 서해연안생태계권역이 교차하는 경기만에 위치하며, 고양시, 파주시, 김포시, 강화군에 걸쳐 있다. 이 중 장항습지는 고양시 신평동, 장항동, 송포동에 위치한 버드나무 우점 습지로 기수 상부구역에 속한다 (환경부 2005). 이 지역은 DMZ 일원인 민간인통제구역으로 자연경관이 우수하고 다수의 멸종위기동식물이 서식하고 있어 2006 년 4 월 환경부고시 제 2006-58 호에 의해서 국가습지보호지역으로 지정되었으며 지정된 면적은 총 60.668 km²이다. 이중 장항습지의 식생이 분포하는 습초지의 면적은 2.7 km², 버드나무림의 면적은 0.71 km² (식생피복 지역의 19.6%)이다 (Fig. 2-2). 이 연구는 2005 년 1 월부터 2007 년 12 월까지 장항습지 선버들 (*Salix subfragilis*) 군락 내에서 이루어졌으며 군락 내 말뚝게 (*Sesarma dehaani*) 서식처가 양호한 3 개소 (JH1, JH2, JH3)를 선정하여 5×5 m² quadrat 을 각각 2 개씩 총 6 개를 설치하여 선버들의 기저직경 (D)와 수고 (H)를 측정하고 표준목을 수확하였다. 또한 JH1 지점에서 선버들 litter 와 말뚝게 시료를 채집하였다.



Fig. 2-2. Map of study site at Janghang wetland in Hangang estuary.



- | | |
|--|--|
| Rp: Rice Paddy | Pl: <i>Phacelurus latifolius</i> (Steud.) Ohwi |
| Pc: <i>Phragmites communis</i> Trin. | Ap: <i>Aster pilosus</i> Willd. |
| Ms: <i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.) Benth. | Xs: <i>Xanthium strumarium</i> L. |
| Zl: <i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Turcz. ex Stapf | Po: <i>Platanus occidentalis</i> L. |
| Ce: <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth | Ah: <i>Arthraxon hispidus</i> (Thunb.) Makino |
| Sg: <i>Setaria glauca</i> (L.) P.Beauv. | Pf: <i>Perilla frutescens</i> var. <i>japonica</i> (Hassk.) Hara |
| Sp: <i>Bolboschoenus planiculmis</i> F.Schmidt | Ta: <i>Typha angustifolia</i> L. |
| Pj: <i>Phragmites japonica</i> Steud. | Ap: <i>Artemisia princeps</i> Pamp. |
| Sgr: <i>Salix gracilistyla</i> Miq. | Sr: <i>Scirpus radicans</i> Schkuhr |
| | Sc: <i>Salix subfragilis</i> dominated complex |

Fig. 2-3. Vegetation map of study site at Janghang wetland in Hangang estuary.

2-2-2. 선버들 (*Salix subfragilis*)의 개체군구조 및 생산성 추정

2005 년 2 월 ~ 5 월에 각 지점에 설치된 방형구 6 개 내에 출현하는 선버들의 꽃과 잎을 채집하여 동정하고 방형구 주변에서 크기별로 대표가 되는 표준목 6 개체를 판별이 용이하게 라벨을 부착하였다. 7 월 ~ 8 월에는 각각의 방형구내 출현하는 선버들의 개체수와 기저직경 (D)을 측정하여 개체군의 구조를 파악하였다. 그리고 방형구 주변에서 크기별 10 개체를 선정하여 수확한 후 나이테의 폭을 측정하여 생장속도를 파악하였다.

동년 10 월에는 선버들 지상부의 부위별 현존량 증가를 추정하기 위하여 표지된 표준목 6 개를 방형구 내에서 수확하여 기저직경 (D)과 수고 (H)를 측정한 후 다음의 비례식 (김 2006)을 이용하여 생물량을 추정하였다.

$$W_s = 1.0355 \log(D^2 H) - 1.0164 \quad (r=0.939) \quad (1)$$

$$W_b = 0.4531 \log(D^2 H) - 1.5355 \quad (r=0.881) \quad (2)$$

$$W_f = 0.6709 \log(D^2 H) - 1.1983 \quad (r=0.969) \quad (3)$$

(W_s : 줄기의 생물량, W_b : 가지의 생물량, W_f : 잎의 생물량, W : 건물량,
 D : 기저직경, H : 수고)

또한 선버들 지상부의 1 차생산성은 금년도와 전년도 간의 현존량의 차이로 간주하였다 (김 1970). 이를 추정하기 위하여 수확된 표준목의

줄기 기저부 단편을 잘라 나이트를 판별하였고, 표준목의 생물량과 함께 동 실험지역에서 수집된 단위면적당 선버들의 수령대별 빈도수와 Yoda's equation (Yoda 1965)을 이용하였다.

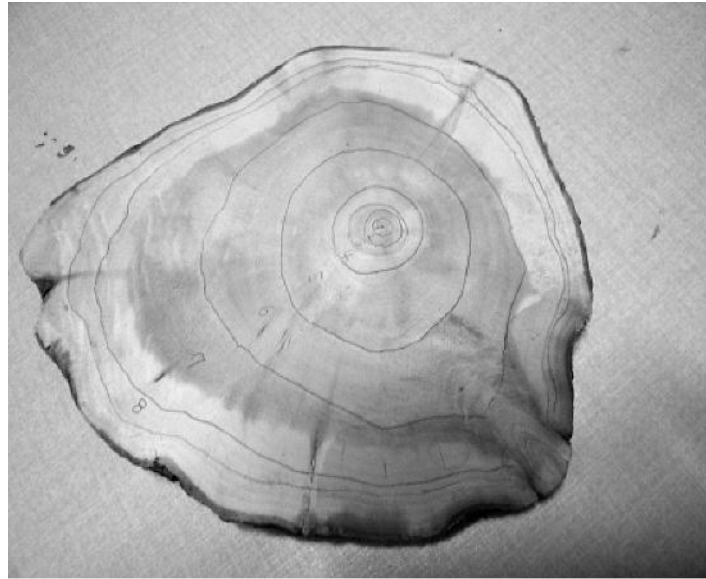


Fig. 2-4. Annual ring of *Salix subfragilis*.

2-2-3. 외생 (allocthonous) 및 내생 (autocthonous) 유기물

장항습지에 유입되는 유기물의 기원과 총량을 추적하기 위해서 외생유기물과 내생유기물로 나누어 관측하였다. 외생유기물량은 2005 년 1 월부터 2007 년 12 월까지 습지 내 축적된 퇴적량으로 간주하였으며 이를 측정하기 위하여 JH1 지점의 방형구 사이 공간에 얇은 주석판 (0.5 m x 0.5 m 크기)을 설치한 후 연간 외부로부터 유입되는 퇴적량을 조사하고 총탄소와 질소를 측정하기 위해 퇴적된 저토를 채집하였다.

또한 내생유기물량은 연간 낙엽생산량으로 간주하였으며 이를 측정하기 위하여 2007 년 5 월부터 11 월까지 JH1 지점에 litter trap 을 설치하였다. 원형 litter trap (샤넬천, mesh size 0.3 cm, 직경 0.5 m) 5 개를 지상 30 cm 에 설치하고 매월 이입되는 낙엽을 수거하여 잎, 꽃, 가지, 기타 등으로 구분한 다음 80°C에서 건조시켜 평량한 후 무게를 측정하였다. 또한 저토 채집과 같은 시기에 JH1 방형구내의 선버들 잎의 생시료를 매월 채집하였다. 채집된 저토와 선버들 생시료는 60°C에서 적어도 하루 이상 건조시킨 다음 막자와 사발을 이용하여 고운 가루로 갈고 이를 8 x 5 mm 주석 캡슐에 싸서 plate 에 넣은 다음 미국 UC Berkeley 의 Dr. Todd Dawson (<http://ib.berkeley.edu/labs/dawson/index.php>)에게 보내어 Automatic carbon and nitrogen analyzer (PDZ Europa ANCA-SL)을 이용하여 탄소와 질소 함량을 측정하였다.



Fig. 2-5. Litter trap and quadrat in JH1.



Fig. 2-6. Survey of allocthonous organic matters.

2-2-4. 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)의 개체군 구조 및 생산성 추정

조사 현장에서 말뚝게는 크기에 따라 분포를 달리하며 강한 이동성과 함께 조석에 따라 간만조선 사이를 이동하는 패턴을 보였다. 이는 많은 수의 조간대 습지 정주자 (resident species)들이 일주기, 조석주기, 생활사에 따른 회유 활동을 나타낸다는 점 (McLachlan and Jaramillo 1995)에서 자연스러운 현상으로 볼 수 있으나, 기존의 생산성 추정 연구에서와 같이 소수의 고정된 정점을 설정하여 생산성을 추정하는 것은 편차 (bias)의 가능성을 높일 수 있다.

이 연구에서는 정성적인 채집 (JH1)을 통해 말뚝게 갑각의 너비와 무게를 측정하였으며, 이를 바탕으로 $\log_{10} \omega = 13.31 + 3.061 \log_{10} t (\omega,$

습중량, l , 갑각 너비 ; $r^2=0.96$)의 선형 관계를 추정하였다. 생산성의 추정은 2006 년 10 월 ~ 2007 년 3 월까지의 가동면 기간을 제외한, 2006 년 9 월부터 2007 년 9 월까지 매 월별 정성적으로 채집된 말뚝계의 갑각 너비 자료를 너비 10~20, 20~30, 30~40, 40 mm 이상의 4 개 크기 그룹으로 구분하고, 위의 식을 적용하여 각 개체 별 습중량과 각 크기 그룹 별 평균 너비와 습중량을 추정하였다.

Table 2-1. Size group (Age class) of *Sesarma dehanni*


Carapace width	Size group	Carapace width
1 cm ~ < 2 cm	G1	
2 cm ~ < 3 cm	G2	
3 cm ~ < 4 cm	G3	
4 cm ≤	G4	



Fig. 2-7. *Sesarma dehanni* (left) and crab's holes (right down).

연령별 구분이 어려운 개체군의 경우, 일반적으로 Crisp (1984)이 제시한, 아래와 같은 개체군의 연간 생산성 (AG) 추정식을 활용한다.

$$AG = \sum_{t=0}^{t=1} \sum_{i=0}^n f_i G_i \varpi_i \Delta t \quad (4)$$

위 식에서 G_i 는 i 번째 크기 그룹에 특이적인 성장률이며, f_i 는 i 번째 크기 그룹의 Δt 기간 동안의 평균 개체수, 그리고 $f_i \cdot \varpi_i$ 는 i 번째 크기 그룹의 평균 현존량이다. 연간생장율 (\mathcal{O})의 계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
G &= 365 \times \Delta \log_e \omega \div \Delta d \\
&= 365 \times 2.303 \times \Delta \log_{10} \omega \div \Delta d \quad (5)
\end{aligned}$$

위 식에서 $\Delta \log_{10} \omega$ 는 각 채집 시기 간 습중량 증감분이며 Δd 는 시기 간 일수 (days)의 차이이다. 본 연구에서는 정성적인 자료에 적용하기 위하여 연간 생산성의 식에서 f_i 를 제외하고, 각 크기 그룹별 개체당 성장률과 생산성을 추정하였다.

또한 장항 습지를 대표할 수 있는 정량적인 서식밀도와 생체량을 구하기 위해, JH1 주변의 다양한 서식처 (버드나무림 하부, 수로, 갈대밭)에서 간조시 굴 밖으로 나와 먹이활동을 하는 말뚝게에 1×1 m² quadrat 을 무작위적으로 활용, 2007 년 3 회 (6 월, 7 월, 8 월) 채집을 수행하였으며 매 채집당 채집횟수는 3 반복 내외였다. 이를 통해 구해진 단위 면적당 말뚝게의 크기 그룹 별 밀도에 위의 크기 그룹별 성장률과 생산성을 적용하여 장항 습지의 말뚝게에 의해 발생하는 2 차생산성을 추정하였다.

2-3. 결 과

2-3-1. 선버들 (*Salix subfragilis*)의 개체군구조와 생장곡선

선버들의 기저직경이 3 cm미만인 개체가 80%, 4 cm이상의 개체는 20%로 나타났으며 기저직경의 최고값은 17 cm을 보였다 (Fig. 2-8). 또한 최고 수령은 약 20 년이었으며 생장속도는 $0.25 \text{ cm yr}^{-1} \sim 4 \text{ cm yr}^{-1}$ 로 매우 높게 나타났다 (Fig. 2-9). 그리고 정착 직후 초기인 1~2년에는 생장이 느리고, 3~5년 사이에는 왕성한 생장을 보였으며 6년 이후에는 점차 생장속도가 감소하였다.

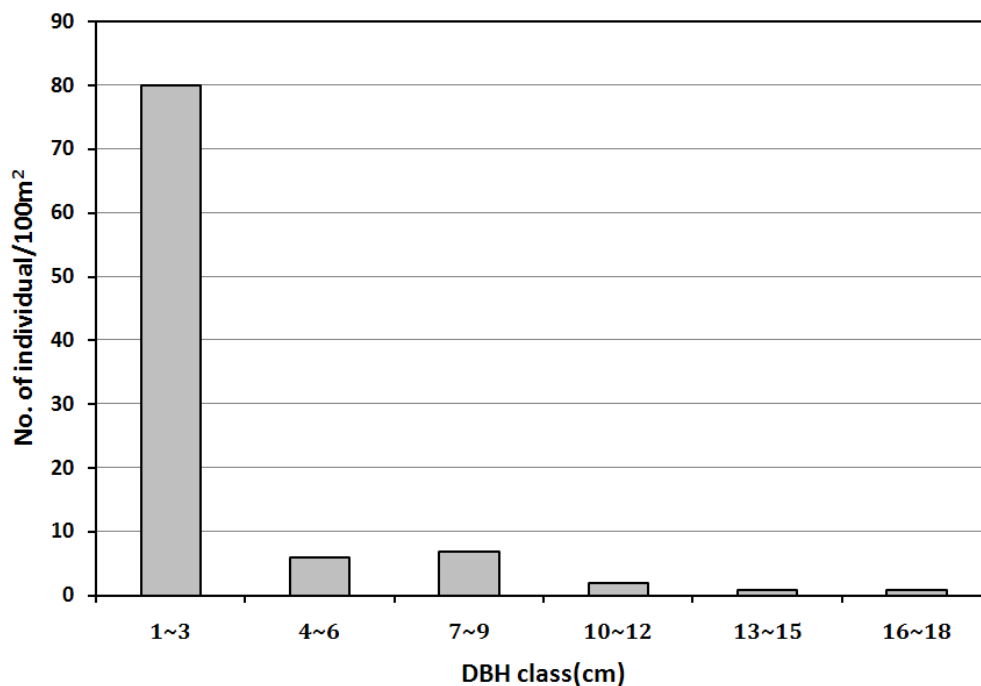


Fig. 2-8. Size distribution of *Salix subfragilis* in the study site (JH1,2, and 3) in Janghang wetland.

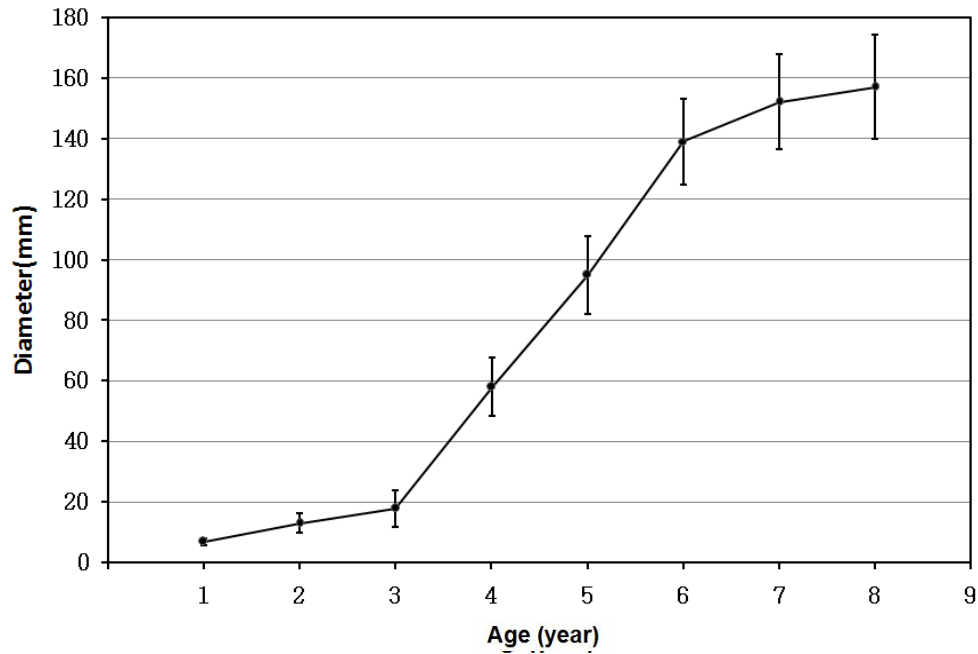


Fig. 2-9. Growth rate of *Salix subfragilis*.

2-3-2. 선버들 (*Salix subfragilis*)의 지상부 1차생산성

장항습지의 선버들의 표준목의 부위별 생물량은 줄기>잎>가지의 순서로 낮게 나타났다 (Table 2-2).

Table 2-2. Dry mass estimations for *Salix subfragilis* from allometric equations for six individuals. W_s stands for dry mass for stems, W_b for branches and W_l for leaves

No.	DBH (cm)	Tree Height (m)	D^2H	W_s (kg)	W_b (kg)	W_l (kg)	Total Biomass (kg)
1	16.0	9.2	2355.2	32.14	1.15	2.88	36.18
2	12.0	7.5	1080.0	14.34	0.81	1.70	16.86
3	10.0	6.6	660.0	8.61	0.65	1.22	10.48
4	7.0	6.8	333.2	4.24	0.47	0.77	5.49
5	5.0	5.0	125.0	1.53	0.30	0.40	2.24
6	3.0	3.0	27.0	0.31	0.15	0.14	0.61

이러한 표준목의 생물량과 함께 단위면적당 선버들의 수령대별 빈도수, 연도별 선버들 평균 연륜 증가 폭 (미발간 자료)을 이용하여 산출된 부위별 식물량 증가는 줄기 $4356 \text{ g DW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (54%), 가지 $336 \text{ g DW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (30%), 잎 $85 \text{ g DW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (17%)로 나타났다. 그러므로 장항습지 선버들의 지상부 1 차생산성은 $4777 \text{ g DW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 추정되었다.

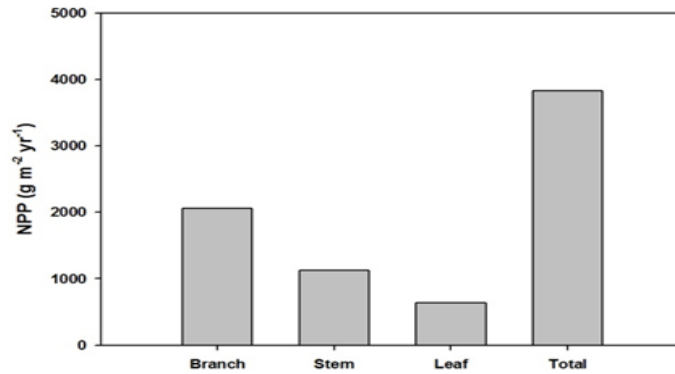


Fig. 2-10. The primary production of *Salix subfragilis* at Janghang wetland was 4777g DW m⁻² yr⁻¹.

2-3-3. 내생 (autochthonous) 및 외생 (allochthonous) 유기물

장항습지의 선버들군락 내부에서 연간 생산되는 내생유기물량은 선버들의 낙엽생산량으로 간주하였으며 외생유기물량은 연간 퇴적되는 토사량으로 간주하였다. 2007년도에 추정된 단위면적당 선버들의 연간 낙엽생산량은 877.8 g DW m⁻² yr⁻¹이었다 (Fig. 2-10). 이 수치는 선버들 비례생장식을 이용하여 도출된 2005년도 연간 생산된 엽량 (85 g DW m⁻² yr⁻¹) 추정치와 비교해서 매우 높게 나타났으며 이는 조사연도 차이에 따라 연간생장률이 반영되었고, 2005년의 1회의 장기침수로 인한 성장저하와 2007년 여름의 빈번한 강우와 강풍 등으로 인한 낙엽량의 일시적 증가에 기인 한 것으로 해석된다. 장항습지의 선버들군락의 앞에서 분석된 평균 탄소량은 40.85%이었으며 이를 낙엽생산량으로 환산하면 연간 선버들 앞에서 공급되는 내생유기물량은 359 g C m⁻² yr⁻¹

이라고 할 수 있다. 선버들군락 내의 외생유기물은 관측결과 홍수기에만 퇴적이 일어났으며, 그 외에는 조석에 의해 주기적으로 조수가 유입되지만 유입수의 유속이 느리고 유출수의 유속이 빨라서 침식우세를 보였다. 그러므로 홍수 직후의 퇴적량을 연간 퇴적량으로 간주하였고 선버들군락의 침수는 3년 동안 단 1차례 관찰되었으며 이로 인한 토사 퇴적 깊이는 0.3 m이었다. 그러므로 이를 3년간의 퇴적량으로 간주하면 연간 평균 퇴적량은 $0.1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이다. 측정된 저토의 가비중 (bulk density) $0.36 \text{ g DW cm}^{-3}$ 를 이용하면 연간 유입되는 외생유기물량은 $36 \text{ kg DW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이라고 할 수 있다. 장항습지의 저토의 탄소 조성을 이용하여 측정한 평균 탄소량은 0.966%이었기에 외생 유기 탄소량은 $347 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이라고 할 수 있다.

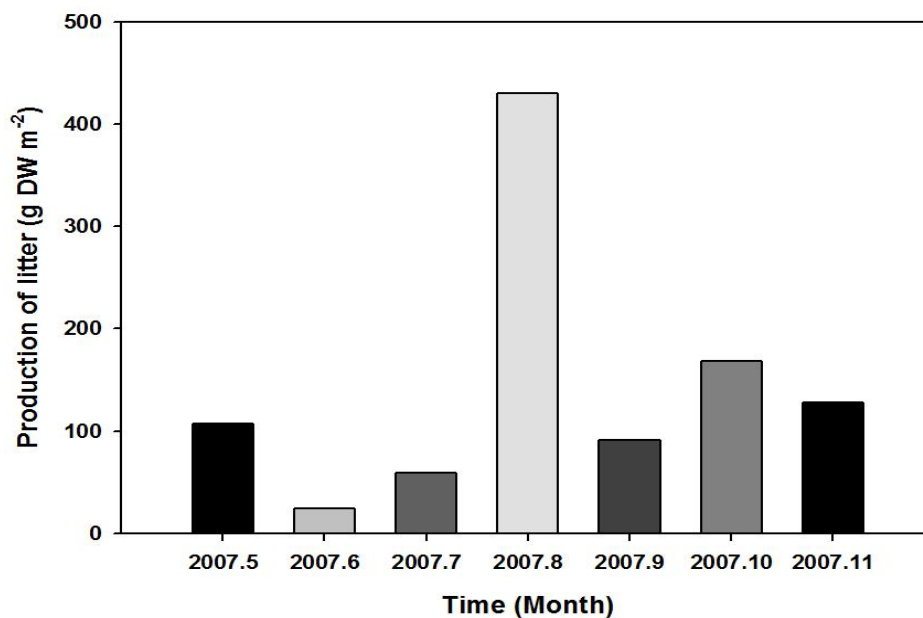


Fig. 2-11. Monthly production of litter estimated at JH1 in *Salix subfragilis* in Janghang wetland.

2-3-4. 말뚱게 (*Sesarma dehaani*)의 2차생산성

말뚱게의 채집 시기별, 크기 그룹별 성장률 추정 결과를 Table 2-3 에 제시하였다. 대체로 8 월~10 월의 기간에 성장을 하고 10 월부터 이듬해 5 월까지 감소하는 것으로 나타났다.

말뚱게의 크기 그룹별 개체당 생산성을 추정한 결과, 말뚱게 1 개체의 연간 생산성 ($\text{g FW ind.}^{-1} \text{yr}^{-1}$)은 크기 그룹별로 연간 0.07~19.70 g FW 의 범위이며, 10~20 mm 크기 그룹 (G_1) 에서 가장 낮고, 30~40 mm 크기 그룹 (G_3)에서 가장 높은 것으로 나타났다. 각 크기 그룹별 개체수의 분포가 균등할 경우에 단위면적당 서식밀도에 개체당 생산성 평균인 5.6 g FW $\text{ind}^{-1} \text{yr}^{-1}$ 을 활용할 수 있으나, 장항 습지의 말뚱게의 분포는 버드나무군락, 갈대군락, 수로에 따라 밀도가 균등하지 않은 것으로 나타났다 (Fig. 2-12).

Table 2-3. Annual individual productivity of *Sesarma dehaani* in Janghang wetland with units of g FW ind.⁻¹ yr⁻¹

Size group	Delta t (day yr ⁻¹)	Mean individual weight (g FW)	Specific Growth rate (yr ⁻¹)	Productivity (g FW ind. ⁻¹)
<i>Size group I</i>				
2006. 9 ~ 10	0.08	2.95	3.67	0.89
2006. 10 ~ 2007. 3	0.41	3.14	-0.40	-0.52
2007. 3 ~ 4	0.08	2.83	-0.40	-0.10
2007. 4 ~ 5	0.08	2.72	-0.53	-0.12
2007. 5 ~ 6	0.08	2.70	0.37	0.08
2007. 6 ~ 7	0.08	2.80	0.46	0.11
2007. 7 ~ 8	0.08	2.78	-0.62	-0.15
2007. 8 ~ 9	0.08	2.64	-0.59	-0.13
Total productivity				0.07
<i>Size group II</i>				
2006. 9 ~ 10	0.08	10.37	3.99	3.40
2006. 10 ~ 2007. 3	0.41	11.39	-0.28	-1.33
2007. 3 ~ 4	0.08	10.09	-1.50	-1.29
2007. 4 ~ 5	0.08	9.32	-0.33	-0.25
2007. 5 ~ 6	0.08	8.82	-0.98	-0.74
2007. 6 ~ 7	0.08	8.64	0.50	0.36
2007. 7 ~ 8	0.08	9.15	0.85	0.66
2007. 8 ~ 9	0.08	9.62	0.36	0.29
Total productivity				1.11

Table 2-3. continued

<i>Size group III</i>				
2006. 9 ~ 10	0.08	26.27	1.91	4.12
2006. 10 ~ 2007. 3	0.41	27.16	-0.21	-2.34
2007. 3 ~ 4	0.08	28.22	1.87	4.47
2007. 4 ~ 5	0.08	28.22	-1.93	-4.47
2007. 5 ~ 6	0.08	29.32	2.69	6.69
2007. 6 ~ 7	0.08	30.25	-1.94	-4.81
2007. 7 ~ 8	0.08	30.82	2.27	5.95
2007. 8 ~ 9	0.08	31.54	3.77	10.09
Total productivity				19.70
<i>Size group IV</i>				
2006. 9 ~ 10	0.08	45.21	0.11	0.40
2006. 10 ~ 2007. 4	0.50	44.59	-0.07	-1.63
2007. 4 ~ 5	0.08	43.78	0.00	0.00
2007. 5 ~ 7	0.17	43.78	0.00	0.00
2007. 7 ~ 9	0.17	45.14	0.36	2.74
Total productivity				1.50

말뚝게의 크기별 개체수 분포는 그룹 1 에서 가장 높고 (평균, 12.3 ind. m⁻², 38.6%) 크기가 클수록 낮아지는 것으로 나타났다. 그룹 2 부터 4 까지의 평균 개체수는 각각 7.3 ind. m⁻² (22.9%), 4.0 ind. m⁻² (12.5%) 그리고 8.3 ind. m⁻² (26.0%)이었다 (Fig. 2-12). 장항습지에 서식하는 말뚝게의 서식 밀도 및 생체량은 각각 32 ind. m⁻², 136 FW g m⁻² 으로 추정되었다.

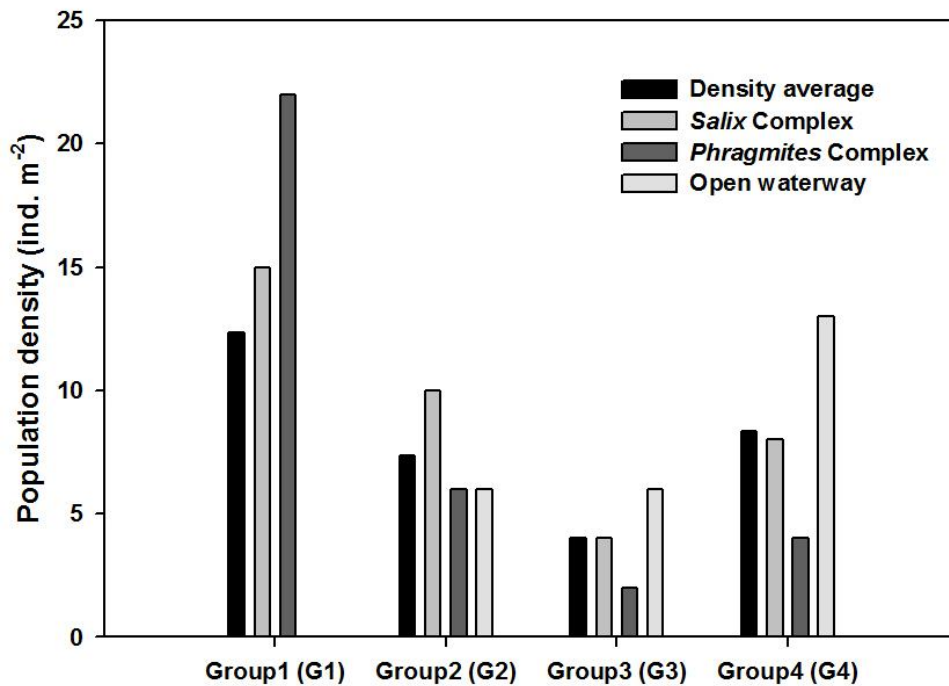


Fig. 2-12. Size group specific densities of *Sesarma dehaani* in different habitats in Janghang wetland.

개체수 분포를 고려하여 아래의 Table 2-4 와 같이 장항 습지에서 발생하는 말뚝게의 2 차생산성을 추정하였다. 이곳에서 발생하는 말뚝게의 단위면적당 연간 생산성은 $100.2 \text{ g FW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이며, 버드나무림의 면적 0.71 km^2 에서 총 $71.11 \text{ ton FW yr}^{-1}$ 의 생산이 발생하는 것으로 나타났다.

Table 2-4. Annual productivity ($\text{g FW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) of *Sesarma dehaani* in Janghang wetland

	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄
Individual production	0.07	1.11	19.70	1.50
Individual distribution among size groups (Avg. no. indiv./m ² =32)	12.30	7.30	4.00	8.30
Productivity by size group	0.83	8.10	78.80	12.43
Total annual productivity				100.16

2-4. 고 찰

지금까지 담수습지에 생육하는 선버들군락의 1 차생산성은 $2530 \text{ g DW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (김 등 1999)로 보고되었는데 이는 국내 육상 자연림의 최고치 (굴참나무군락, $2330 \text{ g DW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)나 인공림의 최고치 (편백나무조림지, $2350 \text{ g DW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)보다 높은 값을 나타낸다 (박 등 1996; 박 등 2000). 그 이유는 선버들이 다른 육상 수목에 비해 개엽 시기가 빠르고 낙엽시기가 늦어 생장기간이 긴 식물계절학적 특징과 함께, 동화조직의 비율은 높은 반면 생식에는 적은 투자를 하는 특성 등을 가지고 있기 때문이라고 해석되었다 (김 등 1999). 그러나 장항습지 선버들군락의 1 차생산성은 $4477 \text{ g DW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 으로서 기존에 보고된 선버들군락의 생산성과도 큰 차이를 보이고 있으며 그 이유로 상대적으로 높은 밀도 (평균 0.97 ind. m^{-2})와 동화조직의 비율이 높은 유식물의 구성비 (90%)에서 기인했을 것 (김 등 1994)이라 판단할 수 있다. 또한 국내의 낙동강하구 세모고랭이군락에서 보고된 1 차생산성은 $538 \text{ g DW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (안 등 2006)로서 역시 매우 큰 차이를 보이고 있으며 이는 초본과 목본의 생산성의 차이로 해석할 수 있다.

이러한 장항습지 선버들군락의 높은 1 차생산성은 한강하구 영양소 순환에 매우 중요하다. 본 실험결과 선버들군락으로부터 저토로 공급되는 내생유기물량은 $359 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이었으며 외부로부터 유입되는 외생유기물량은 $347 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 으로 나타나 내외생유기물의 비는 약 1:1 의 비율을 보였다. 그러나 이 측정치는 3 년간 1 회의 선버들군락의

침수결과를 반영하고 있으며, 실제로는 홍수주기와 측정시기에 따라 연중 편차는 매우 클 것으로 예상된다. 특히 비침수기에는 선버들군락으로부터 공급되는 내생유기물이 영양소 공급의 대부분을 차지할 것으로 판단된다.

국내에서는 대형저서무척추동물의 2 차생산성에 대한 연구가 빈약한 편이나 홍과 박 (1994)이 추정된 송도 갯벌의 연체동물 이매패류, 맛조개 (*Solen strictus*) 생산성 추정치인 $33.22 \text{ g FW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 에 비하면 말뚝게의 생산성은 3 배 이상 높은 것이다. 신과 고 (1995) 역시 송도 갯벌에서 높은 생산성과 어획량을 기록하는 이매패류, 동죽 (*Macrta veneriformis*)의 생산성을 $67.9 \text{ g FW m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 추정하였다. 위의 연구들이 행해진 송도 갯벌은 우리나라 갯벌 가운데에서도 생산성이 매우 높고, 이매패류 두 종의 기여도 역시 매우 높은 것으로 알려져 있다 (Yoo 1998). 장항습지에 서식하는 말뚝게의 생산성은 $100.2 \text{ FW C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 으로 추정되어 위의 두 종에 의해 발생하는 생산성의 합산 값에 필적하는 것은 말뚝게의 생산성 수준이 매우 높음을 짐작하게 하는 것이다. 이들의 생산성은 이곳의 유기물 생산 역시 왕성하기 때문인 것으로 해석할 수 있다.

본 연구를 통해 장항습지의 선버들군락이 국내 목본 우점 습지생태계 중 최고의 1 차생산성을 가짐을 보였고, 선버들군락 내에 서식하는 말뚝게의 2 차생산성은 국내 대형저서무척추동물의 생산성에 비해 매우 높음을 확인하였다. 또한 선버들군락 내 말뚝게의 2 차생산성은 1 차생산성의 약 2.1% 수준이었으며 이들의 생산성은 서로 밀접한

관련이 있을 것으로 판단되었다. 버드나무림 하부에 서식하는 말뚝게의 서식굴은 지표면 1 m² 당 0.22 m³의 통기공간을 만들고 있는 것으로 파악(미발간자료) 되었으며 이로 인해 선버들의 근계의 통기성을 높여 1 차생산성을 높이는 데 도움을 주었을 것으로 추측할 수 있다. 또한 선버들에서 유래하는 내생유기물의 일정량은 말뚝게의 배변을 통해 저토로 공급되고 이는 선버들의 생장에 도움을 주었을 것으로 추측된다.

선버들군락 하부에 서식하는 말뚝게의 2 차생산성과 단위 면적당 현존량을 근거로 구해진 생산량-생체량 전환율 (P/B ratio)은 0.74 정도이다. 이는 Gray (1981)가 제시한 대형저서동물 개체군 별 전환율 범위 (0.1~5.5)와 비교하면 다소 낮은 수준에 해당하는 것이다. 그러나 본 연구에서 0~10 mm 범위의 개체들이 제외되었음을 감안하면 이 추정치는 과소평가된 것으로 볼 수 있다. 일반적으로 알려진 대형저서동물의 섭식-생체량 비율 (Q/B ratio)은 9~20 정도의 범위를 갖는데, Wilson 과 Parkes (1998)가 Dublin Bay 생태계 모형에서 추정한 비율인 16 을 적용하면, 단위 면적당 약 140 g FW 의 말뚝게 개체군은 연간 약 2140 g FW, 장항습지 전체면적 (0.71 km²)에서는 약 1519 ton FW 의 먹이를 소비하는 것으로 예측할 수 있다.

말뚝게의 2 차생산성에 Dr. Thomas Brey's virtual handbook (<http://www.thomas-brey.de/science/virtualhandbook>)에서 제시된 십각류 습중량-회분제거중량 전환율 (0.180)과 저서동물의 회분제거중량-유기탄소 전환율 (0.518)을 적용하면, 유기탄소 현존량은 약 13 g C m⁻² 이 된다. 이 양에 Q/B ratio, 16 을 적용하면 말뚝게의 연간 섭식량은 약

208 g C m⁻² yr⁻¹가 된다. 이 값은 선버들군락의 유기물 공급량, 약 700 g C m⁻² yr⁻¹의 30%, 내생 유기물 공급량의 60%에 해당한다. 현장 조사에서 관찰된 말뚝계의 섭식 (선버들 잎에 대한 집중적인 섭식), 그리고 말뚝계의 갯도 서식활동에 의해 발생하는 '+'의 피드백 (퇴적물 내 통기 작용)은 이 두 가지 생물학적 구성원 간의 강력한 상호 작용의 존재를 시사하는 것이다.

일반적으로 자연 서식처의 생물 구성원을 강한 상호 작용자와 약한 상호 작용자로 구분할 수 있으며, 약한 상호작용자가 다수로 존재하는 시스템이 강한 상호작용자가 우세한 곳보다 높은 안정성을 갖는 것으로 알려져 있다 (May 1973; Berlow 1999). 선버들군락에 서식하는 대형저서동물 군집의 낮은 생물다양성 (김포시 2008)은 에너지 흐름의 경로가 단순하며, 약한 상호작용자가 소수로 존재함을 의미하는 것으로 볼 수 있다. 따라서, 앞서 언급된 말뚝계와 선버들군락 간의 상호 간 높은 의존성과 약한 상호작용자의 군집 안정성 역할에 대한 가설을 고려하면, 장항습지의 선버들군락은 구조적 안정성이 취약하며 관리의 필요성이 매우 높은 시스템이라고 할 수 있다.

이 연구를 통해 한강하구 장항습지 선버들군락과 말뚝계의 높은 생산성 그리고 이들 간에 존재하는 강한 상호작용을 추정할 수 있었다. 이후 버드나무와 말뚝계와의 직접적인 관련성을 밝히기 위해서는 말뚝계와 버드나무를 중심으로 한 한강하구의 먹이그물 및 에너지 흐름 (Heymans and Baird 1995)에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

註: 2 장은 2010 년 한국하천호수학회지 (Limnol. Korean J.) Vol 43, No. 2 에 게재되었던 '한강하구 장항습지의 선버들 (*Salix subfragilis*)의 지상부 1 차생산성과 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)의 2 차생산성' 논문을 일부 수정,편집하여 수록하였다.

제3장
장항습지에서 안정동위원소와
지방산표지를 이용한 먹이그물구조

**Food web structure in Janghang wetland in
Hangang estuary using stable isotopes and fatty
acid biomarkers**

3-1. 서 론

하구는 낮은 염도와 얇은 수심, 높은 혼탁도, 과도한 영양분의 특징을 가지며 종다양성은 타 생태계에 비해 낮지만, 생산성은 매우 높은 특징을 보인다 (Elliot & McLusky 2002). 하구의 먹이그물은 육상과 수서 환경에 걸쳐있어 복잡하며 생물들은 다양한 섭식 전략을 가지고 있다 (Haines and Mantague 1979). 특히 하구 생태계에서는 보통 강에서 공급되는 저토에 의한 유기물 공급이 개별 먹이 그물의 주된 탄소원이 된다고 알려져 있다 (Mann 1972 ; Odum et al. 1973). 이 두 가지 생물학적 구성원 간의 상호작용을 밝히기 위해서는 먹이그물 연구가 필요하다. 먹이그물 연구는 전통적으로 대상생물의 소화 기관에 남아 있는 먹이 생물을 현미경으로 조사 (Créach et al. 1997)하는 위장 내용물 분석방법 (gut content analysis)을 사용하였으나 이 방법은 많은 시간과 노력이 투입됨에도 불구하고 먹이-포식 관계를 정량화하기 힘들다. 또한 기존의 영양단계의 개념은 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)와 같은 잡식성 생물들을 먹이그물 내에 정확하게 위치 지우기가 힘들다 (Vander Zanden and Rasmussen 1996). 최근에는 안정동위원소와 지방산을 이용하여 먹이그물 구조를 연구하는 방법이 선호되고 있다 (Jeong and Park 2010). 안정동위원소 모니터링은 특정 생태계 내의 각 생물 구성원의 조직에서 탄소와 질소의 안정동위원소비율을 측정하여 보다 객관적이고 정량적인 먹이그물 구조를 파악할 수 있다 (Vander Zanden et al. 1999). 특히 질소 안정동위원소 비율 자료로부터 보다 정량적인 영양 위치를 결정할 수 있으며 질소안정동위원소 ^{15}N 는 피식자와

포식자사이에서 $3.4 \pm 0.3\%$ 정도로 결정되는 경향이 있음이 관찰되었다 (Van der Zanden and Rasmussen 1996 ; Van der Zanden et al. 1997 ; Guest and Connolly 2004 ; Thimdee et al. 2004). 또한 지방산 biomarker 를 이용하면 섭식관계에 의한 먹이그물을 연구할 수 있다. 최근에는 특정한 지방산 biomarkers 를 이용하여 물질의 순환과 먹이그물구조를 이해하려는 경향이 나타나고 있다 (Menziane et al. 1997 ; Menziane et al. 2002 ; Ruess et al. 2005). 지방산을 맹그로브 습지에서 섭식관계의 biomarker 로 사용한 최근의 연구에서는 맹그로브 식물과 sesarmid 종류 게인 *Sesarma bidens* 의 지방산 조성이 비슷하다는 결과가 있었다 (Shin and Lam 2004). 그러므로 안정동위원소 분석과 지방산 조성분석을 병행하여 보다 정확한 먹이그물관계를 해석하려는 새로운 경향이 있다 (Kiyashko et al. 2004 ; Ruess et al. 2005 ; Pond et al. 2006).

이 연구는 한강하구 기수상부 습지인 장항습지에서 선버들 (*Salix subfragilis*) 군락 내부에 서식하는 말뚝게를 중심으로 먹이그물의 구조와 에너지의 흐름을 파악하여 말뚝게와 선버들의 연관성을 규명하고 생태계에서 이들의 기능을 밝히는 것이 목적이다. 이를 위해 습지 내 탄소와 질소 안정동위원소와 지방산 biomarker 를 이용하였다.

3-2. 재료 및 방법

3-2-1. 조사지

한강하구는 한반도 서해 중부에 인접한 자연하구로서 다양한 기수역 습지가 발달해 있으나 DMZ 일원 내에 있어 접근이 어려워 생태학적 연구가 매우 제한적이다. 한강하구의 기수역 중 경기도 고양시에서 인천시 강화군에 이르는 하천은 일부 구간을 제외하고 국가습지보호지역으로 지정되어 있다. 장항습지는 이 보호지역 내 기수역 상부에 출현하는 하천습지로서 N 37°38'17", E 126°45'47"에 위치한다 (Fig. 3-1). 이 습지는 선버들 (*Salix subfragilis*)이 우점하는 습지숲과 하구갯벌로 이루어져 있으며, 선버들군락의 면적은 0.71 km²로 식생피복면적의 19.6%이다.

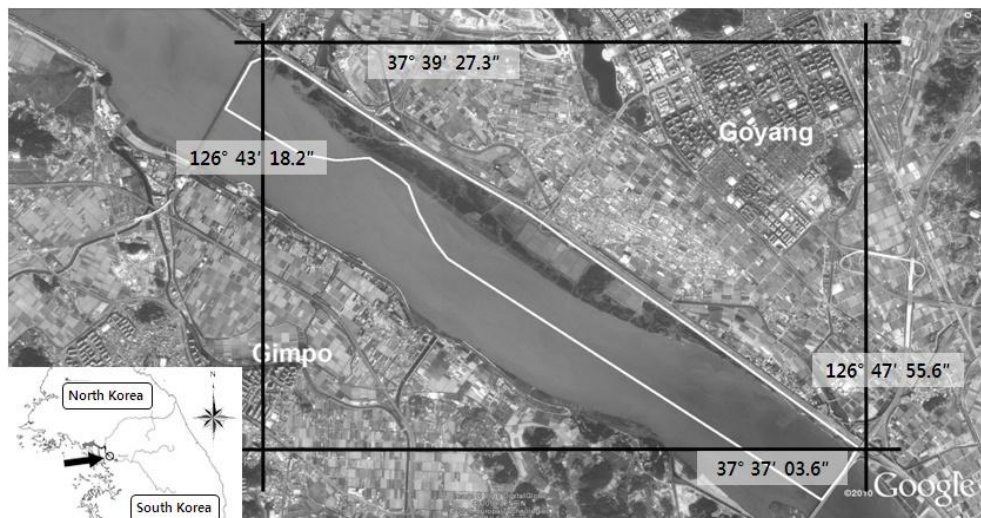


Fig. 3-1. Map of Janghang wetland in Hangang estuary, South Korea.



High tide at willow forest in
Janghang wetland



Low tide at willow forest in
Janghang wetland



A pistillate flower (left) and staminate flower (right) of *Salix subfragilis*

Fig. 3-2. *Salix subfragilis* community(top) and flower(down).

선버들이 우점하는 하구습지 내에서 선버들을 중심으로 먹이관계와 에너지 흐름을 파악하기 위하여 방형구를 설치하고 생물 구성원과 저토를 채집하였으며 안정동위원소 모니터링법과 지방산 표지를 함께 이용하여 분석하였다.

3-2-2. 시료채취

2006 년 9 월부터 2007 년 11 월까지 한강하구 장항습지 선버들 (*Salix subfragilis*)군락 내에서 이루어졌으며 군락 내 말뚝게 (*Sesarma dehaani*) 서식처가 양호한 장소를 선정하여 5×5 m² 방형구를 4 개를 설치하여 말뚝게가 동면에 들어가는 겨울기간을 제외하고 동물, 식물 및 저토 시료를 월 1 회 채집하였다. 어류 및 저서동물은 2008 년 1 월부터 2009 년 6 월까지 정치망을 이용하여 채집하였다.



The crab' holes at willow forest in Janghang wetland



The adult male of *Sesarma dehaani*



S. dehaani climbing on the willow tree



S. dehaani climbing on the reed plant



A crowd of *S. dehaani*

Fig. 3-3. *Sesarma dehaani* in Janghang wetland.

3-2-3. 안정동위원소 모니터링

저토 (detritalsediment)와 말뚝게 (*Sesarma dehaani*), 선버들 (*Salix subfragilis*), 버섯, 거미, 갯지렁이, 어류 등 선버들군락 내부 또는 인근 조수로 (tidal channel)로 연결된 갯벌에서 채취된 모든 시료의 안정동위원소를 측정하였다. 특히 부착조류의 안정동위원소비율 측정은 저토에서 긁어낸 조류를 저토와 분리한 뒤, 400°C 정도에서 미리 한 시간 정도 처리한 유리섬유 여과지 (Whatman GF/C, 25 mm)를 사용하였다. 말뚝게 시료는 외골격 안 조직에서 1g 을 떼어내어 즉시 냉동한 후 건조시켰다. 건조시 여과지와 동식물 시료를 60°C에서 적어도 하루 이상 건조시킨 다음 막자와 사발을 이용하여 고운 가루로 갈았다. 분말로 된 시료는 최대직경 6mm 의 작은 구형으로 만들어 주석 디스크 (Perkin Elmer, Waltham, USA) 에 싸서 plate 에 넣어 보관하였다. 안정동위원소 시료는 미국 UC Berkeley 의 Stable Isotope Biogeochemistry 센터에 보내어 Delta Plus XL isotope ratio mass spectrometer (IRMS, Thermo Finnigan, Germany)를 이용하여 측정하였다. ^{13}C 과 ^{12}C 또는 ^{15}N 과 ^{14}N 의 두 동위원소의 함량의 비 (R)를 표준물질과 비교하여 천분율 (‰)로 표시하여 이를 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값으로 표시하였다. [탄소 안정동위원소의 비 즉 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 는 PDB 석회암을 표준물질로 사용하고 질소 안정동위원소의 비 즉 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 은 대기를 표준물질로 사용한다.] 이때 총 탄소와 총 질소량도 같이 측정하였다.

$$\delta^{13}\text{C or } \delta^{15}\text{N (‰)} = \left[\frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \right] \times 10^3$$

$$R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C or } {}^{15}\text{N}/{}^{14}\text{N}$$

3-2-4. 지방산 함량 측정

지방산 함량의 정량을 위해 드라이아이스 박스를 이용하여 현장에서 실험실로 운반하고 영하 80°C 정도에서 보관하였다. 동결시료는 추출전에 동결 건조기 (Heto Model FD2.5)를 사용하여 건조하였다. 이렇게 동결 건조된 시료는 전자저울 (Satorius Model A120S)을 이용하여 건중량당 지방산 함량을 계산하였다 ($\mu\text{g FA g}^{-1}$).

37개의 혼합 지방산 메틸 에스터 (Supelco Cat. No. 47885-u)와 해양 기원 지방산 메틸 에스터 (Supelco Cat. No. 47033)를 지방산 동정에 사용하였다. 또한 heneicosanoic acid (21:0, 1 mg ml^{-1}) 를 동결 건조된 여과지에 첨가하여 각 추출과정의 내부 표준물질로 이용하였다. 추출과 메틸화 과정은 Kattner and Fricke (1986)의 방법을 따랐으며 부유물의 지방산 함량은 PTV (Programmed Temperature Vaporizer) inlet이 장착된 Gas Chromatography (HP6890)로 분석하였다. 식물, 말뚝게 (*Sesarma dehaani*), 저토 등은 400°C의 미리 고온에서 열처리한 여과지로 시료를 감싸서 추출을 진행하고 미리 고온에서 열처리한 여과지의 지방산 조성을 따로 분석하여 기저농도를 보정하였다. 지방산은 내부 표준물질과 시료의 면적비를 비교하여 정량화하였다. 각각의 지방산 표준물질에 대한

반응계수는 내부 표준물질의 지방산 정량표준 물질과 비교하였다. 내부 표준물질과 정량 표준물질에서 예상되는 지방산 농도의 편차는 5 % 이내이었다.

3-2-5. 주성분분석 및 기타 통계적 분석

총 지방산양에 대한 각 지방산의 백분율 값은 자료 행렬 (18 측정값 X 35 지방산 종류)을 생성하도록 모아서 자료 행렬을 만들었다. 전체 지방산 양의 1 % 미만이 남은 모든 지방산은 지방산 비율 값을 다시 계산하지 않고 분석 전에 데이터 집합에서 제거되었다 (Hessen and Leu 2006). 지방산 신호강도 데이터는 주성분 분석 (PCA)에 앞서 가장 높은 농도를 가진 피크에 상대 풍부도로 표준화하였다. 분산의 동질성을 확실하게 하기 위해 로그 변환($\log(x + 1)$)을 사용했다 (Poerschmann et al. 2004). 일치하는 피크가 없는 경우 0을 부여하였다. PCA는 차원을 줄이기 위해 공분산 데이터 매트릭스를 사용하여 수행되었다. PCA를 포함한 모든 통계 분석은 윈도우 (Insightful Corp., USA) S-Plus 6로 수행하였다.

3-3. 결 과

3-3-1. 저토, 선버들 (*S. subfragilis*) 그리고 말뚝게 (*S. dehaani*)의 안정동위원소

말뚝게의 Stable isotope signatures 에서는 연급 (age class)에 따라 계절마다 차이는 있으나 성장이 왕성한 6 월~ 9 월 사이에는 대체로 Age1, Age2 의 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 Age3, Age4 의 $\delta^{13}\text{C}$ 값보다 저토의 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 유사함을 알 수 있었다. Age3, Age4 의 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 Age1, Age2 보다 높고 항상 저토보다 높았다.

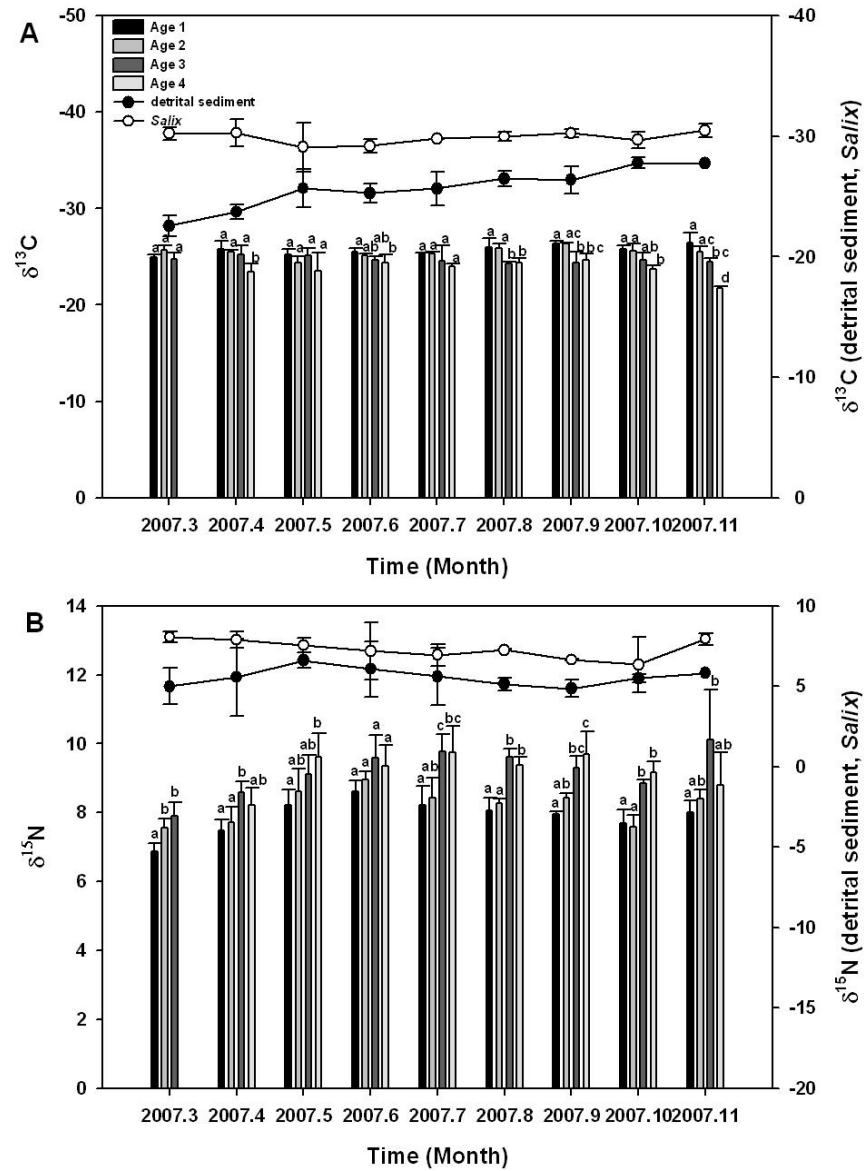


Fig. 3-4. (A) Mean (bar = SD) $\delta^{13}\text{C}$ of detrital sediment, *Salix subfragilis* and *Sesarma dehaani* in Janghang wetland in 2007 and (B) Mean (bar = SD) $\delta^{15}\text{N}$ of detrital sediment, *S. subfragilis* and *S. dehaani* in Janghang wetland in 2007.

저토의 안정동위원소값은 건조기인 4 월에는 상대적으로 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 낮고 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 높은 반면 고온다습한 8 월에는 상대적으로 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 높고 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 낮았다. 또한 봄철과 가을철에는 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 $\delta^{15}\text{N}$ 값 모두 증가하는 경향을 보이지만 여름철에는 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 일정하게 유지되고 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 감소하는 경향을 보였다. 또한 $\delta^{15}\text{N}$ 와 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 봄-여름-가을 순으로 반시계방향으로 나선형으로 회전하는 경향성을 보였다.

3-3-2. 말뚝게 (*S. dehaani*)의 건조기와 고온다습한 시기의 안정동위원소값

장항습지 생태계 구성원의 $\delta^{13}\text{C}$ 과 $\delta^{15}\text{N}$ 을 나누어 분석한 결과 건조기 (4 월)와 고온다습한 시기 (8 월)가 뚜렷이 구별되었다. 고온다습한 시기에는 Age3, Age4 의 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 Age1, Age2 의 $\delta^{13}\text{C}$ 값보다 뚜렷하게 높았다. $\delta^{15}\text{N}$ 값은 대부분의 시기에 Age1, Age2 와 Age3, Age4 가 구별되었으며 특히 고온다습한 시기에는 Age3, Age4 의 $\delta^{15}\text{N}$ 이 약 1.8‰정도 높은 값을 보여 Age3, Age4 가 Age1, Age2 를 어느 정도 동족포식하는 관찰을 뒷받침하고 있다.

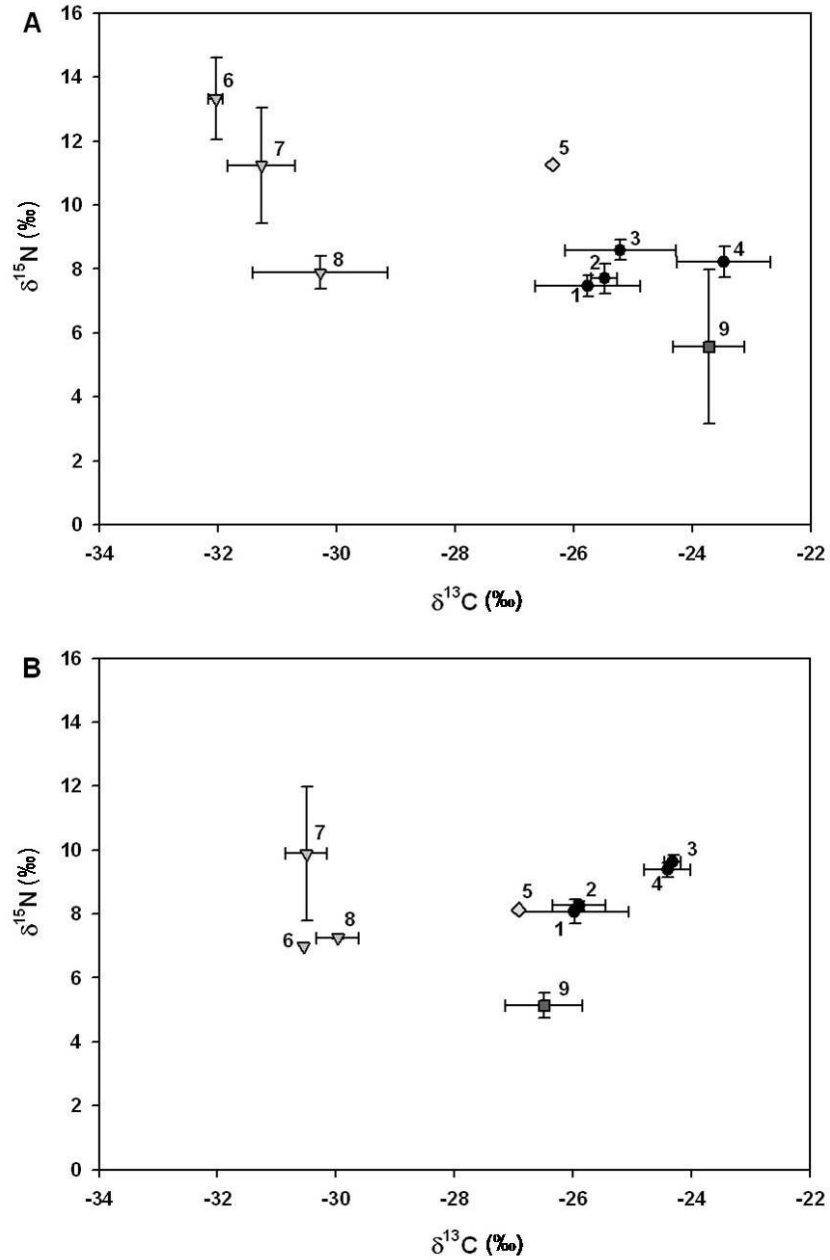


Fig. 3-5. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ diagram of Janghang wetland in (A) dry period (April, 2007) and (B) wet and humid period (August, 2007). 1-4, Crab; 1, Age1; 2, Age2; 3, Age3; 4, Age4; 5, Spider, 6-8, Plant; 6, Monocodyledon; 7, Dicodyledon; 8, *Salix*, 9, detrital sediment.

3-3-3. 수생태계 구성원을 포함한 장항습지의 안정동위원소 값

인근 수역의 어류와 인근 갯벌의 갯지렁이 등을 포함한 안정동위원소 분석을 통해 Age3, Age4 의 기타 먹이원으로 어류 중에 누치 (Skin carp)가 포함되었으며 이 종은 인근 수생태계의 우점종으로 어부들에 의해 인위적으로 조류먹이 등으로 공급되고 있었다.

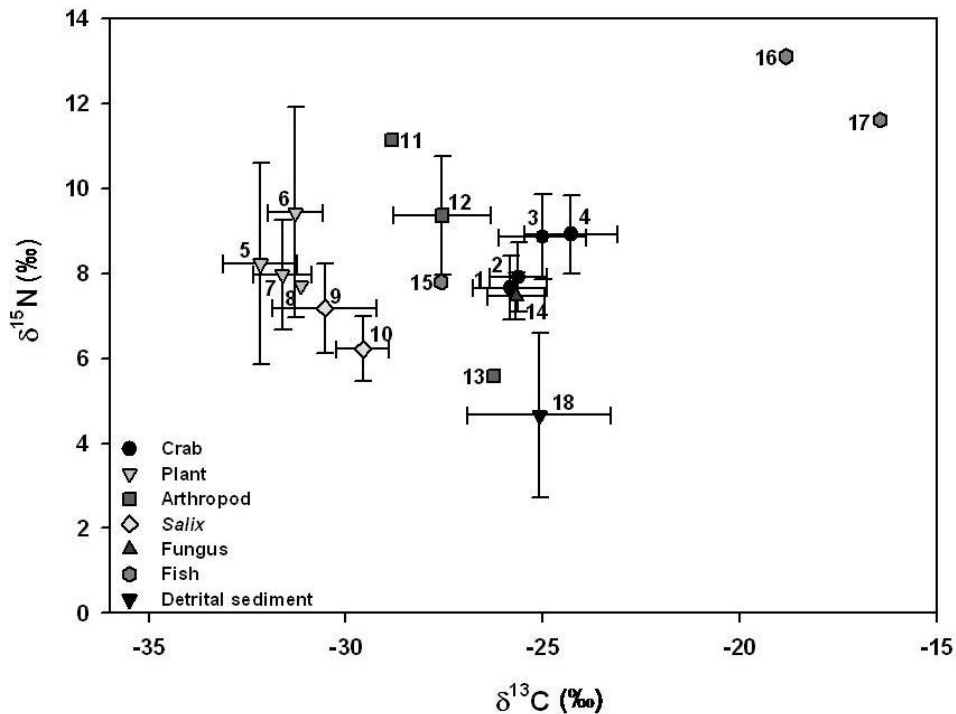


Fig. 3-6. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ diagram of Janghang wetland using annual average value and candidate food sources for *S. dehaani*. 1-4, Crab; 1, Age1; 2, Age2; 3, Age3; 4, Age4; 5-10, Plant; 5, Monocodyledon; 6, Dicodyledon; 7, *Sium suave*; 8, Reed; 9, *Salix*; 10, *Salix* (litter); 11-13, Arthropod; 11, insect; 12, Spider; 13, Lugworm; 14, Fungus; Mushroom; 15-17, Fish; 15, Skin carp; 16, Goby; 17, Flathead mullet; 18, detrital sediment.

3-3-4. 말뚝게 (*S. dehaani*) 연급에 따른 지방산 biomarker

현재까지 알려진 16:1 과 16:0 (특히 16:1)은 규조류의 biomarker 이며, 18:3 ω 3 와 18:2 ω 6 는 녹조류 또는 육상식물의 biomarker 이다 (Parrish et al. 2000). 이러한 biomarker 를 중심으로 생태계 구성인자들의 섭식 경향성을 알 수 있다. 선버들 (*Salix subfragilis*)의 잎의 지방산 profiles 은 저토에 비해 18:2 ω 6 과 18:3 ω 3 의 농도가 높았고 저토는 16:1 ω 7 과 22:2 의 농도가 더 높았다. 말뚝게의 연급별로 중요 지방산 측정된 결과 Age1, Age2 는 16:1 ω 7 이 상대적으로 높게 나타났고 보다 Age3, Age4 에서는 18:3 ω 3 가 대체로 높았다.

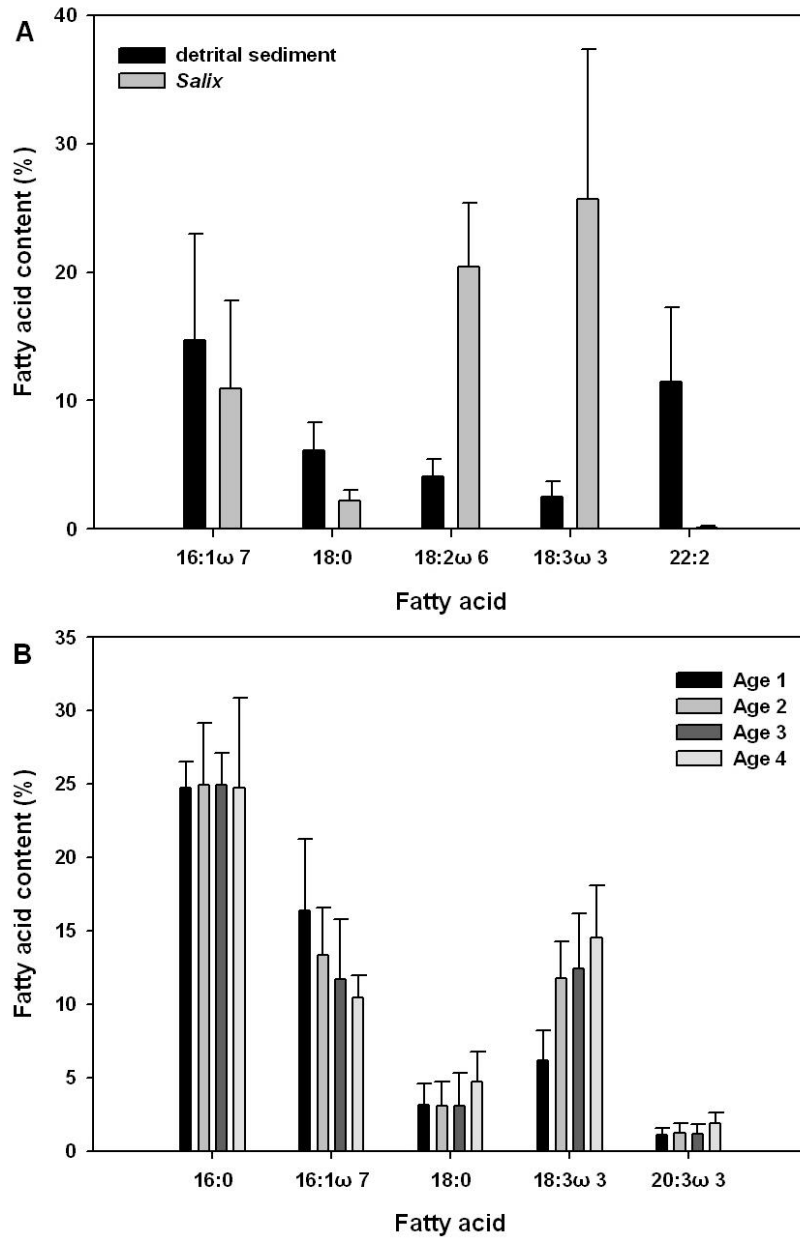


Fig. 3-7. (A) Comparison of important fatty acid content of detrital sediment and *S. subfragilis*, and (B) fatty acid content in each age class of *S. dehaani* in Janghang wetland.

3-3-5. 말뚝게 (*S. dehaani*) 연급의 지방산 성분의 차이

말뚝게의 연급별 지방산 조성의 차이를 보기 위해 말뚝게와 선버들 (*Salix subfragilis*), 저토에 대해 주성분 분석을 실시하였다. Age1, Age2 에서 Age3, Age4 로 성장할수록 규조류의 biomarker 로 알려져 있는 16:1 ω 9 가 감소하고, 육상식물의 biomarker 로 알려져 있는 V16(18:2 ω 6)가 증가하였다. 이것은 말뚝게가 성장하면서 규조류가 포함된 저토에서 육상식물 쪽으로 먹이 선호도가 바뀌었다는 것을 의미한다. 1 축을 기준으로 보면, Age1, Age2 는 저토에, Age3, Age4 는 선버들에 가깝게 위치하고 있고, 이를 다시 주성분 적재(loading)값으로 살펴보면 1 축의 양의 방향으로 V10(16:1 ω 7)은 감소하며 V16(18:2 ω 6)는 증가함을 알 수 있다. 1 축과 2 축의 loading 값을 비교하면, 우상향으로 V16(18:2 ω 6)이 증가하는데 이는 선버들의 값과 가까워진다. 이에 비해서 Age1, Age2 는 Age3, Age4 에 비해 왼쪽으로 치우쳐져 저토에 가까워짐을 알 수 있다.

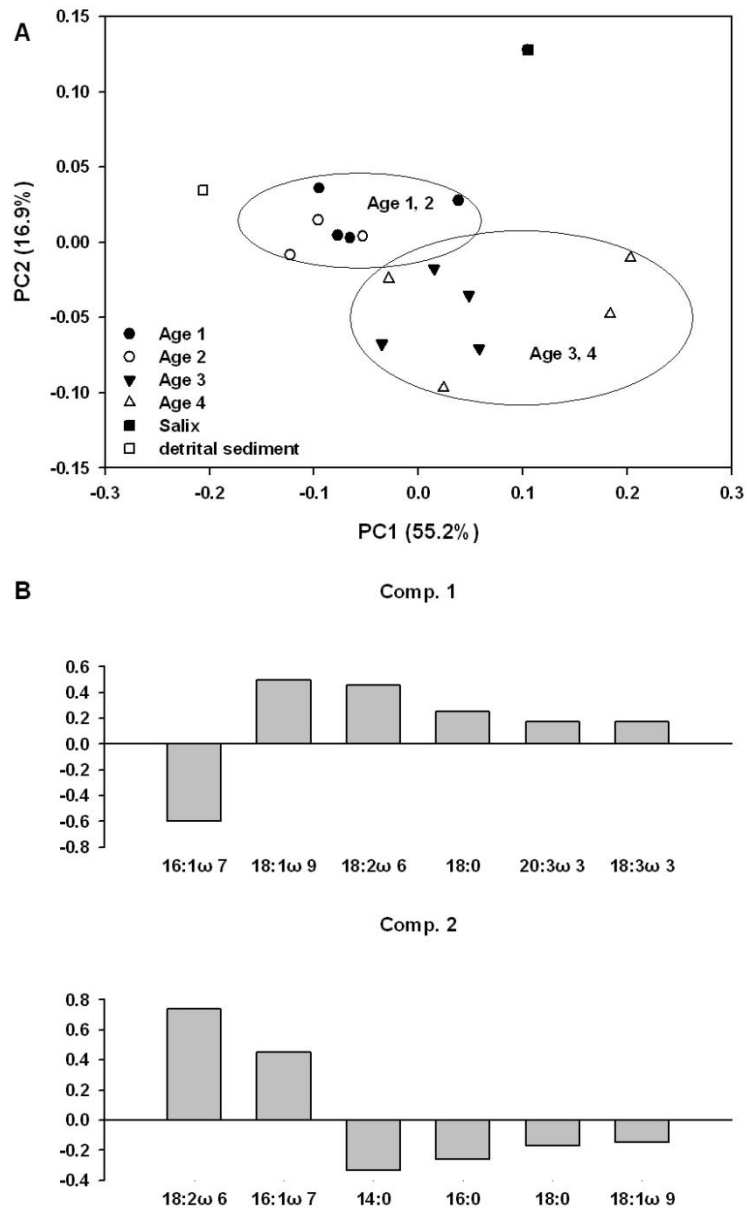


Fig. 3-8. (A) PCA scores based on fatty acid profiles of sediment, *Salix subfragilis* and *Sesarma dehaani* of each age class in Janghang wetland in August, 2007, and (B) the most important loading values on the first and second principal components⁶.

3-4. 고 찰

목본이 우점하는 하구습지 내의 목본과 계의 먹이관계 연구는 열대나 아열대지역의 맹그로브숲 내에서 집중적으로 이루어졌고 맹그로브의 잎이나 낙엽 그리고 저토를 섭식한다고 보고 (Lee 1997 ; Skov and Harnoll 2002)되었지만, 온대지역에서는 보고되지 않았다. 맹그로브 우점 습지에서 맹그로브 계는 맹그로브 잎에서 생산되는 유기물을 분해하여 배설물형태로 저토로 보내는 기능 (Lee 1997)을 하며 맹그로브 계의 2 차생산성은 맹그로브 숲의 1 차생산량의 약 80%에 달한다고 추정되었다 (Inga et al. 2006).

이러한 섭식경향을 한강하구 선버들 (*Salix subfragilis*)군락내 서식하는 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)와 먹이원이되는 저토, 갈대 갈대 (*Phragmites australis*), 버섯, 갯지렁이, 어류 등의 탄소와 질소의 안정동위원소비율과 다가불포화지방산 (polyunsaturated fatty acid; PUFA) 분석한 결과 여름철의 말뚝게 성숙 개체는 저토와 선버들의 잎을 주로 섭식하며 성숙 개체가 미성숙 개체를 동족포식하는 경향이 나타났으며 수역의 어류 중에 누치를 섭식하는 것으로 나타났다 (Fig. 3-6, Fig. 3-8).

장항습지에서 말뚝게는 연간 -25.8‰ ~ -23.3‰ 의 $\delta^{13}\text{C}$ 를 가졌으며 이는 같은 생태계 내의 구성 요소인 선버들의 생잎 (-30.5‰), 낙엽 (-29.6‰)과 저토 (-25.1‰ ~ -24.8‰)의 $\delta^{13}\text{C}$ 값보다 커서 이들보다 높은 영양단계임을 나타내었고 이는 실제 현장에서 관찰한 섭식관계와 일치하였다. 또한 말뚝게 성체 (Age3, Age4)는 연간 8.9‰ 정도의 $\delta^{15}\text{N}$ 을 가져서 선버들의 생잎 (7.9‰)이나 저토 ($5.0\sim 5.8\text{‰}$)보다 1‰ ~ 3.9‰

높으므로 이들을 섭식하거나 7.7‰ ~ 7.9‰의 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 가진 미성숙 말뚝게 (Age1, Age2)와 기타 먹이원을 섭식하는 것으로 판단되었다 (Fig. 3-5). 이러한 결과는 맹그로브 습지에서 *Sesarma* spp. (-26‰)의 $\delta^{13}\text{C}$ 가 맹그로브 잎 (-28.9‰)과 부니질 (-26.3‰) 사이에 나타나고 $\delta^{15}\text{N}$ (7.9‰)은 맹그로브 잎과 부니질보다 2.8-2.9‰ 높다는 보고 (Thimdee et al. 2004) 와 유사하지만 이들보다 다소 약한 상호작용으로 보여 지며 이는 각각의 생태계 구성인자의 다양성 차이와 기후조건의 차이로 먹이원에 차이가 생기기 때문이라고 판단된다.

지방산분석에서 선버들은 18:2 ω 6 와 18:3 ω 3 가, 저토에는 16:1 ω 7, 22:2 가 상대적으로 우세하였으며, 말뚝게 미성숙개체인 Age1, Age2 에서는 16:1 ω 7 이 상대적으로 높게 나타났고, 성숙개체인 Age3, Age4 에서는 18:3 ω 3 이 우세하게 나타났다. 이는 Age1, Age2 의 주 먹이원이 손쉽게 구할 수 있는 저토이고, Age3, Age4 는 저토와는 다른 생물들이 먹이원이 되었다는 것을 의미하였다. 또한 연간 지방산 조성의 변화를 통해 Age1, Age2 보다 Age3, Age4 의 지방산 분포 폭이 넓게 나타나서 성숙개체 (Age3, 4)의 먹이원이 미성숙 개체 (Age 1,2)보다 다양함을 알 수 있었다. 같은 연급의 말뚝게 내에서도 봄과 가을의 섭식 선호도가 달랐는데 특히 Age3 에서 선버들의 잎이 떨어지지 않는 봄에는 주로 저토를, 가을에는 선버들 등의 식물성 먹이와 기타 먹이를 선호하는 경향이 나타났다.

한강하구 장항습지에서는 선버들은 성장시기와 낙엽시기에, 말뚝게는 연급에 따라 여름과 가을에 뚜렷하게 안정동위원소 신호와 지방산조성이

달라졌다. 말뚝게의 주 먹이원으로 판단되는 저토의 안정동위원소값은 계절에 따라 일정한 경향성을 가지고 있었다. 고온다습한 시기인 여름에는 상대적으로 낮은 $\delta^{15}\text{N}$ 값과 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 보였고, 건조기인 봄에는 상대적으로 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값과 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 보였다. 또한 봄철과 가을철에는 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 $\delta^{15}\text{N}$ 값 모두 증가하는 경향을 보이지만 여름철에는 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 일정하게 유지되고 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 감소하는 경향을 보였다. 이런 경향성은 강우량, 기온, 만조 수위 등으로 인한 토양의 습도변화와 관계가 있을 것으로 판단되고 이 값은 말뚝게의 안정동위원소값에 직접적인 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

이러한 결과를 바탕으로 말뚝게의 행동을 현장에서 관찰해 본 결과 Age3, Age4 는 선버들의 잎을 비롯하여, 저토에 묻혀 있는 선버들의 낙엽, 갈대 잎, 탈피한 말뚝게 갑각, 죽은 어패류 등을 섭식하였으며, 간헐적으로 동족포식을 하는 개체도 관찰되었다. 이러한 복잡한 잡식성 먹이행동으로 인하여, Age3, Age4 의 지방산 조성이 Age1, Age2 의 지방산 구성과 달라지게 된 원인이라고 판단되었다.

註: 3 장은 2011 년 Animal Cells and Systems 에 게재된 아래 논문을 일부 수정하여 수록하였다.

Donguk Han, Dongwoo Yang, Eunjoo Lee & Sangkyu Park. 2011. Food web structure in a *Salix subfragilis* dominated wetland in Hangang estuary using stable isotopes and fatty acid biomarkers. Animal Cells and Systems.

제 4 장

공간과 계절 변화에 따른 말뚝게의 먹이 관계 비교

**Spatial and seasonal comparisons of
feeding relations of *Sesarma dehaani***

4-1. 서 론

에너지 흐름과 영양물질 순환과 같은 생태계의 기능을 규명하기 위해서는, 먹이그물에서 우점하는 생물의 먹이 관계를 이해하는 것이 중요하다 (Vander Janden et al. 2006). 하구의 먹이그물은 복잡하여, 다양한 섭식전략을 가지고 있는 생물체들이 육상과 수서환경, 담수와 염수환경 등의 서로 이질적인 환경에 상호 적응해서 서식하고 있다 (Haines and Montague 1979). 하구습지에서는 보통 하천에 의해 공급되는 유기부니질 (detritus)에 의한 유기물 공급이 개별 먹이 그물의 주된 탄소원 기반이 된다고 알려져 있다 (Mann 1972 ; Odum et al. 1973 ; Han et al. 2012). 그러나 최근의 연구결과에 의하면, 맹그로브나 염생식물은 하구생태계에서는 이전 연구결과에서 주장되었던 만큼 중요하지 않을 수도 있다 (Mazumder and Saintilan 2010).

안정동위원소 분석법은 그 한계에도 불구하고 먹이그물 구조 연구에 많이 사용되고 있기 때문에 (Boecklen et al. 2011), 하구습지의 먹이그물은 안정동위원소 특히 ^{13}C 와 ^{15}N 를 사용하여 연구되고 있다(Mazumder et al. 2011 ; Fry and Chumchal 2012). 또한 지방산 biomarkers 는 영양관계 (trophic relations) 에 대하여 추가적인 정보를 줄 수 있다 (Brett et al. 2006). 게를 포함하여 대부분의 동물들은 다가불포화지방산을 체내에서 합성하지 못하기 때문에, 그들의 먹이에서 이들 지방산을 얻어야 하며 결과적으로 이들 동물들과 유사한 지방산 프로파일을 가지게 된다 (Suprayudi et al. 2004 ; Chamberlain et al. 2005).

따라서, 피식자와 포식자간 지방산 프로파일 유사성에 따라 영양 관계를 추론하기 위해 주성분분석 (PCA)과 같은 다변량분석을 사용할 수 있다 (Dalsgaard et al. 2003 ; Han et al. 2012). 먹이그물에서 영양 관계나 에너지 흐름을 연구하기 위해 안정동위원소와 지방산을 함께 이용하는 방법이 최근의 경향이다 (Kiyashko et al. 2004 ; Ruess et al. 2005 ; Pond et al. 2006 ; Nerot et al. 2009). 한가지 분석방법으로는 영양 관계에 대해서 제한된 단서만을 얻을 수 밖에 없지만, 안정동위원소와 지방산 분석방법을 병용하면 복잡한 먹이 그물을 보다 명료하게 밝힐 수 있는 추가적인 정보를 제공하기 때문이다.

한강하구는 남북한의 비무장지대 (DMZ) 일원에 위치한 국가 (환경부)가 지정한 습지보호지역으로 기수역이 잘 보전되어 있고 인위적인 장애물이 없으며 (Han et al. 2010), 이에 따라 자연스러운 염도 구배가 나타난다 (Park 2004). 또한 연속적인 염도구배에 따라 기수역 상부, 중부, 하부의 식생의 연속적인 변이가 나타나며 우점하는 식생이 뚜렷하게 구별이 된다 (미발표 자료). 한강하구 기수역은 그 면적이 광대하고 길이가 길어서 시,공간적 서식처 다양성이 나타나는 자연하구이므로 기수역 생태계 연구의 적지이지만, 남북한의 분단으로 인해 출입이 매우 제한적이어서 지금까지 기수역 연구에 소외되어 왔다. 이는 지난 수년간 상대적으로 접근이 용이한 기수역 상부 장항습지에서 하구생태계 연구가 집중된 이유이기도 하다. 장항습지에서의 최근의 연구 결과에 따르면, 조수로 인해 유입되어 습지에 축적되는 유기물과 습지식물이 생산하는 1 차생산성, 그리고 잡식성이면서 이 생태계 내에서 우점하는 말뚝게 (*Sesarma dehaan*)가 하구습지 생태계내의 에너지

순환에 주로 기여한다고 보고되었다 (Han et al. 2010). 장항습지에서 말뚝게는 개체 크기에 따라 먹이원의 의존도와 선호도가 다르게 나타났는데, 중대형 성숙개체는 계절에 따라 식물체를 비롯한 다양한 먹이원을 이용하지만 소형 미성숙 개체는 상대적으로 저토를 비롯한 제한된 먹이원을 이용하는 것으로 나타났다 (Han et al. 2012).

이 연구는 남북한의 긴장이 완화되고 교류가 활발했던 지난 몇 년간 일시적으로 출입이 가능했던 한강하구 기수하부를 포함해서 중부, 상부의 3 개 습지에서 말뚝게와 그 먹이원인 습지식물과 저토의 연관성을 시공간적 차이에 따른 특성을 규명하기 위해 실시되었다. 한강하구 모든 기수역 생태계에서 우점하는 말뚝게가 하구습지의 에너지 흐름과 생지화학적 순환에 중요한 기여를 할 것이라고 가정하고, 염분 구배에 따라 서로 다른 식물 종이 우점하는 세 습지에서 말뚝게와 먹이원 사이의 영양 관계를 규명하는 것이었다.

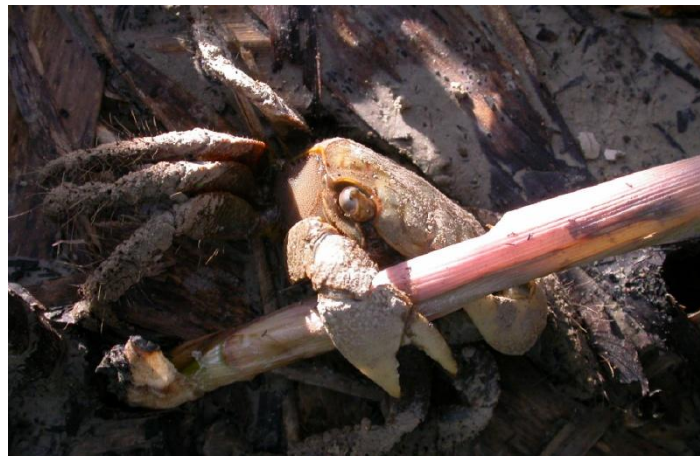


Fig. 4-1. *Sesarma deanni*'s feeding activity on reed young stem.

4-2. 재료 및 방법

4-2-1. 조사지

한강은 한반도의 중앙부에 위치하며 수도 서울을 관통하여 서해로 유입되는 대하천으로 그 하구역 (N 37.36.56, E 126.47.38 ~ N 37.46.36, E 126.03)은 남한과 북한의 경계를 이루고 있으며 DMZ 일원에 속한다. 한강하구의 기수상부는 염도 0 ~ 0.5 psu 이하이며, 중부는 염도 1.7 psu 전후 이고, 하부는 염도 2.8 psu ~ 8.2 psu 이다 (Park 2004). 여기서 기수중부와 기수하부는 군사적으로 예민한 지역이어서 출입이 어려워 염도를 측정할 수 있는 구간이 매우 제한되어 있어 불연속적인 것처럼 보이지만 실제로 측정지점을 균일하게 하면 연속적일 것으로 판단되며 기수중부의 염도는 0.5 ~ 2.8 psu 로 추정된다. 이러한 자연스러운 염도구배로 인해 상중하부에 각각 식생의 상관이 뚜렷이 구별되는 3 개의 습지 (Site 1, Site 2, Site 3)가 발달하였다. Site 1 (St1)은 하구 종점에서 상류 방향으로 31.70km 떨어진 기수상부 습지로 장항습지 (Janghang wetland)이다. Site 2 (St2)는 18.30km 떨어진 공릉천하구습지 (Gongreung estuarine wetland)로 기수하부에 위치하지만 담수유입량이 커서 기수중부의 특성을 가지는 습지이다. Site 3 (St3)은 14.35km 떨어진 기수하부습지로 성동습지 (Seongdong wetland) 이다 (Fig. 4-2). St.1 은 선버들 (*Salix subfragilis*) 군락이 우점하고, St.2 는 갈대 (*Phragmites australis*) 군락이 우점하며, St.3 는 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*) 군락이 우점하고 3 개의 군락 모두 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)가 군락하부에 서식하고 있다.

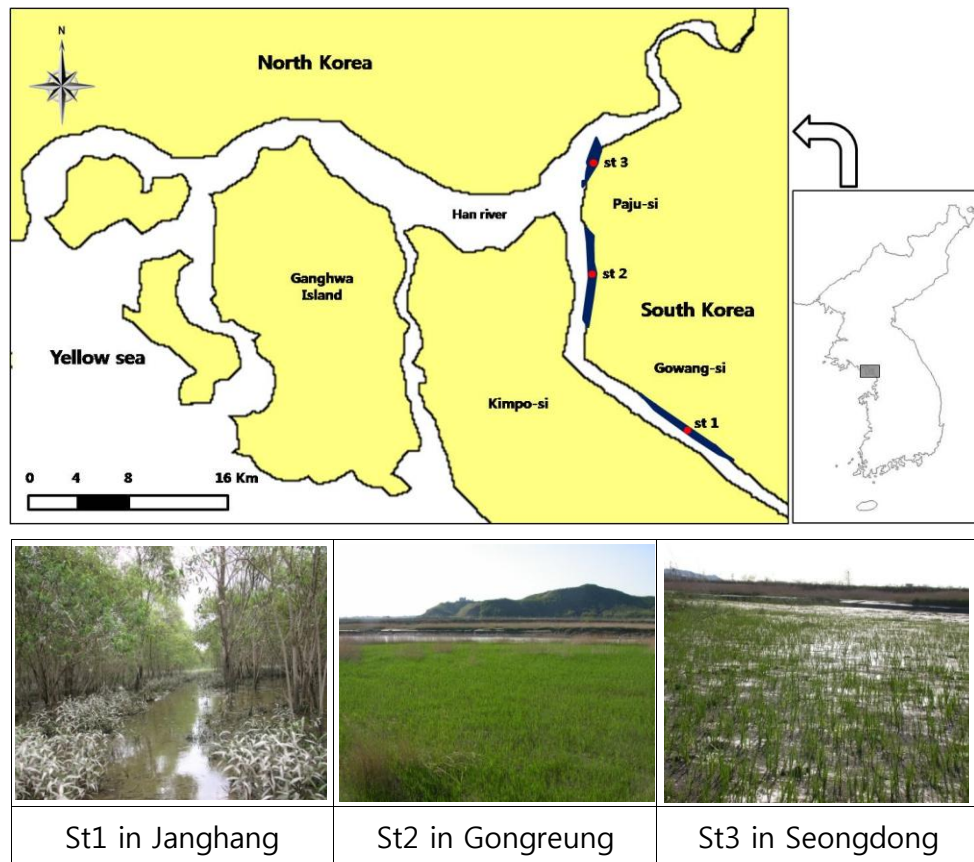


Fig. 4-2. Map of locations and overviews of sampling sites in Hangang estuary, South Korea.

4-2-2. 시료채집

한강하구의 3 개의 습지 (St.1, St.2, St.3)에 5×5 m² 방형구를 무작위로 각각 4 개씩 설치하였다. 그리고 말뚝게 (*Sesarma dehaani*), 식물 및 저토 시료를 2006 년 8 월부터 2007 년 11 월까지 각각 월 1 회씩 채집하였다. 말뚝게는 갑각의 너비 자료를 이용하여 너비 10~20, 20~30, 30~40, 40 mm 이상의 4 개의 연급 (age class; Age1, Age2, Age3, Age4)으로

구분하여 각 연급별로 평균 5 반복으로 채집하였다. 말뚝계의 가동면기 (12 월~2 월)에는 채집하지 않았으며 군의 허가를 받지 못해 출입이 불가능한 시기 (St.2 의 2007 년 11 월, St.3 의 10 월, 11 월)를 제외하고는 정기적으로 채집하였다. 채집된 시료는 연급과 계절별로 구분하고 6 월 ~ 9 월을 다습기 (wet period)로, 10 월~5 월을 건조기 (dry period)로 구분하여 정의하였다.



St.1 in Janghang

St.2 in Gongreung

St.3 in Seongdong

Fig. 4-3. Quadrats at 3 sites in Hangang estuary. 4 quadrats (5×5 m²) were established each sites randomly.

4-2-3. 탄소와 질소 안정동위원소 측정

말뚝개 (*Sesarma dehaan*), 선버들 (*Salix subfragilis*), 갈대 (*Phragmites australis*), 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*) 등 조사지 내에서 채취된 동,식물시료와 저토시료의 탄소와 질소 안정동위원소를 측정하였다. 부착조류의 안정동위원소비율 측정은 저토에서 긁어낸 조류를 저토와 분리한 뒤, 400°C 정도에서 미리 한 시간 정도 열처리한 유리섬유 여과지 (GF/C, 25 mm; Whatman, Maidstone, UK)를 사용하였다. 말뚝개 시료는 외골격 안 조직에서 1g 을 떼어내어 즉시 냉동한 후 건조시켰다. 건조시 여과지와 동,식물 시료를 60°C에서 적어도 하루 이상 건조시킨 다음 막자와 사발을 이용하여 고운 가루로 갈았다. 분말로 된 시료는 최대직경 6mm 의 작은 구형으로 만들어 주석 디스크 (Perkin Elmer, Waltham, USA) 에 싸서 plate 에 넣어 보관하였다. 안정동위원소 시료는 미국 UC Berkeley 의 Stable Isotope Biogeochemistry 센터에 보내어 Delta Plus XL isotope ratio mass spectrometer (IRMS, Thermo Finnigan, Germany)를 이용하여 측정하였다. ^{13}C 과 ^{12}C 또는 ^{15}N 과 ^{14}N 의 두 동위원소의 함량의 비 (R)를 표준물질과 비교하여 천분율 (‰)로 표시하여 이를 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값으로 표시하였다. [탄소 안정동위원소의 비 즉 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 는 PDB 석회암을 표준물질로 사용하고 질소

안정동위원소의 비 즉 $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 은 대기를 표준물질로 사용한다.] 이때 총 탄소와 총 질소량도 같이 측정하였다.

$$\delta^{13}\text{C} \text{ or } \delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \left[\frac{R_{\text{sample}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \right] \times 10^3$$

$$R = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ or } ^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$$

4-2-4. 지방산 함량 측정

채취된 시료는 지방산 함량의 정량을 위해 드라이아이스 박스를 이용하여 현장에서 실험실로 운반하였고 영하 80 도 정도에서 보관하였다. 동결된 시료는 추출전에 동결건조기 (Model FD2.5; Heto, Waltham, USA)로 건조하였다. 이렇게 동결 건조된 시료는 전자저울 (Model A120S; Sartorius, Goettingen, Germany)을 이용하여 건중량당 지방산 함량을 계산하였다 ($\mu\text{g FA mg}^{-1}$). 동결 건조된 시료는 400°C의 사전에 열처리된 여과지로 시료를 감싸서 추출하였고 열처리된 여과지의 지방산 조성을 따로 분석하여 보정하였다. 그리고 37 개의 혼합 지방산 메틸 에스터 (Supelco Cat. No. 47885-u)와 해양 기원 지방산 메틸 에스터 (Sigma-Aldrich, St. Louis, USA, Cat. No. 47033)를 지방산 동정에 사용하였다. 정해진 양 (1 mg ml^{-1})의 21:0 지방산을 동결 건조된 여과지에 첨가하여 각 추출과정의 내부 표준물질로 이용하였다. 추출과 메틸화 과정은 Kattner and Fricke (1986)의 방법을 따랐다. 추출된 지방산 시료는 PTV (Programmed Temperature Vaporizer) 와 Flame-Ionization-Detector (FID) inlet 이 장착된 Gas Chromatography (Agilent, Santa Clara,

USA, 6890N)로 분석하였다. 지방산은 내부 표준물질과 시료의 면적비를 이용하여 정량화하였다.

4-2-4. 통계 분석

각 습지에 우점하는 습지식물과 저토, 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)의 안정동위원소 측정값을 바탕으로 정점별, 시기별 그리고 연급 별로 구분하여 평균의 차이의 유의성을 검정하였다. 각 정점별 다습기와 건조기 사이의 ^{13}C 와 ^{15}N 값의 차이를 비교하기 위해 F-test 와 two-tailed t-test 수행하였다. 같은 시기 내 정점 간 차이와 같은 시기와 정점 내 말뚝게의 연급 간 차이의 검정을 위해 one-way ANOVA (analysis of variance)를 수행하였다. 비교 집단 간 차이의 검정을 위해서 다중비교 (multiple comparison)을 행하였으며, Tukey's HSD (honestly significant difference) 방법을 사용하였다. 총 지방산양에 대한 각 지방산의 백분율 값은 자료 행렬 (18 측정값 X 35 지방산 종류)을 생성하도록 모아서 자료 행렬을 만들었다. 전체 지방산 양의 1 % 미만이 남은 모든 지방산은 지방산 비율 값을 다시 계산하지 않고 분석 전에 데이터 집합에서 제거되었다 (Hessen and Leu 2006). 지방산 신호강도 데이터는 주성분 분석 (PCA)에 앞서 가장 높은 농도를 가진 피크에 상대 풍부도로 표준화하였다. 분산의 동질성을 확실하게 하기 위해 로그 변환 ($\log(x + 1)$)을 사용했다 (Poerschmann et al. 2004). 일치하는 피크가 없는 경우 0 을 부여하였다. PCA 는 차원을 줄이기 위해 공분산 데이터 매트릭스를 사용하여 수행되었다. PCA 를 포함한 모든 통계 분석은 윈도우 (Insightful Corp., USA) S-Plus 6 로 수행하였다.

4-3. 결 과

4-3-1. 계절별, 장소별 생태계 구성원의 안정동위원소 분석

말뚝게 (*Sesarma dehaani*)가 건조한 기후가 지속되어 먹이활동이 활발하지 않은 건조기 (dry period)와 섭식활동이 활발한 다습기 (wet period)로 계절을 나누었다. 건조기는 10 월이후부터 가동면기를 거쳐 5 월까지로 상정하였으며 특히 가장 건조 누적 효과가 큰 5 월을 선택하였다. 또한 고온다습하고 강수량이 많아 성장과 탈피, 산란이 일어나는 6 월부터 9 월까지를 다습기로 정하고 이 중 가장 다습 누적 효과가 큰 9 월을 선택하였다. 5 월과 9 월 각 지점에서 연급별 말뚝게의 안정동위원소 값을 구하였다. 말뚝게는 5 월보다 9 월에 안정동위원소 값의 변이폭이 커졌으며, 소형 미성숙 개체 (Age1,2)와 중대형 성숙개체 (Age 3,4) 모두 서식 장소 간의 차이가 유의하였다 (판별분석, $p<0.001$). 서식 장소간의 안정동위원소 값의 차이는 Age 1,2 에서 보다 크게 나타났으며 5 월보다 9 월에 더 큰 차이를 보였다. 5 월의 경우 Age 1,2 에서는 세 장소 모두 유의하게 차이가 났으나 Age 3,4 의 경우는 St.2 와 St.3 간에는 유의하게 차이가 나지 않았으며 St.1 과 St.3 에서의 값 차이보다 St.1 과 St.2 간의 관계가 더 유의하게 차이가 났다. 9 월에는 Age 1,2 에서는 세 장소 간에 유의하게 차이가 났으나, Age 3,4 에서는 St.1 과 St.3 간의 관계만 유의하게 차이가 났다 (Table 4-1). 기수상부에서 기수하부로 내려 갈수록 서식 개체의 $\delta^{13}\text{C}$ 과 $\delta^{15}\text{N}$ 의 값은 전체적으로 더 높아졌으나 저토는 St.1 의 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 다른 두

지역보다 상대적으로 낮았다. 습지 내 우점하고 있는 식물군락은 시간이 지날수록 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 낮아지는 경향을 보였다 (Fig. 4-4).

Table 2-1. Results of MANOVA on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values in May and September, 2007

	May, 2007					September, 2007				
	Lambda	<i>p</i>	Group	T^2	<i>p</i>	Lambda	<i>p</i>	Group	T^2	<i>p</i>
Age 1-2	0.067	0.000	St1-St2	14.424	0.001	0.022	0.000	St1-St2	40.744	0.000
			St2-St3	14.384	0.001			St2-St3	27.125	0.000
			St1-St3	59.395	0.000			St1-St3	136.352	0.000
Age 3-4	0.174	0.002	St1-St2	5.154	0.032	0.279	0.003	St1-St2	3.311	0.072
			St2-St3	1.654	0.245			St2-St3	3.234	0.075
			St1-St3	16.634	0.001			St1-St3	15.176	0.001

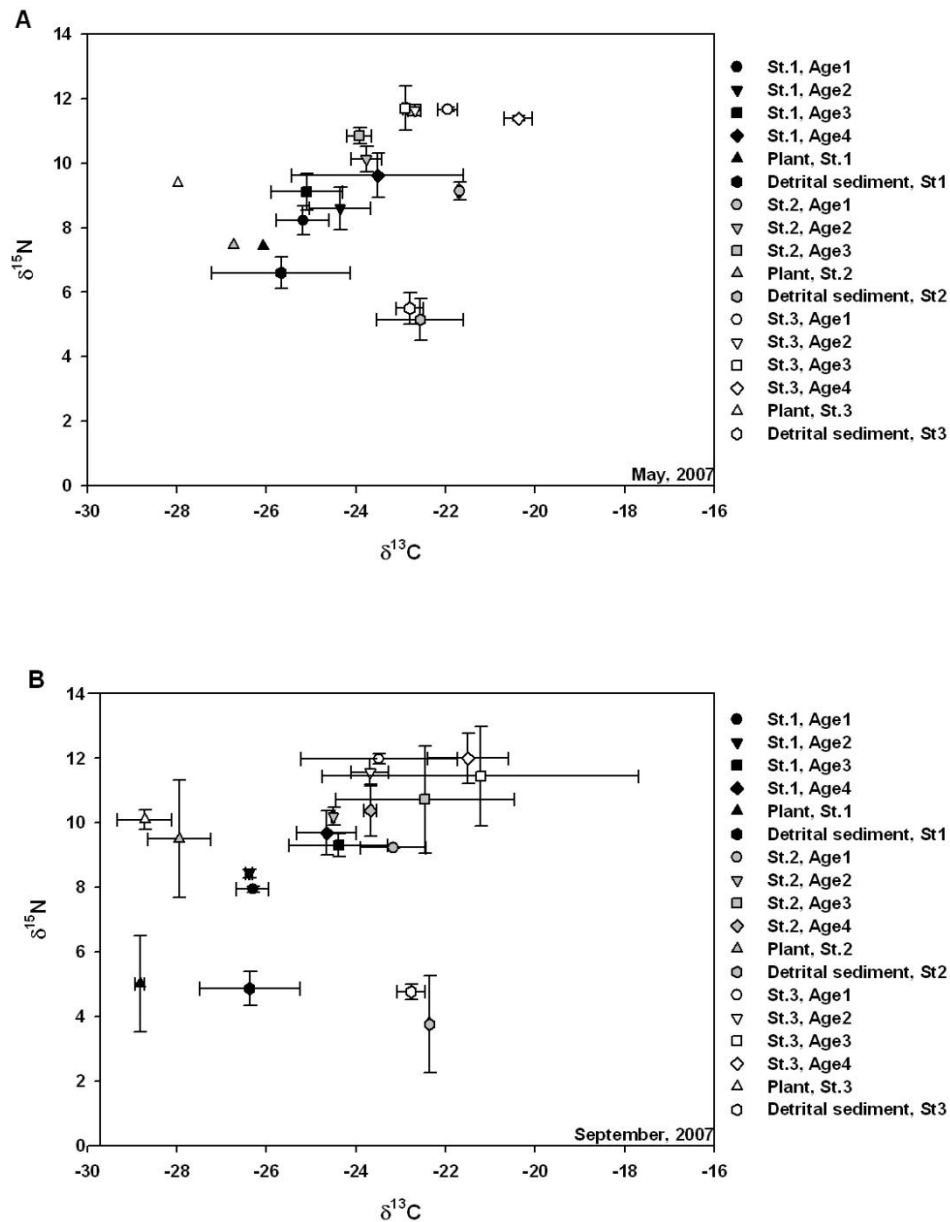


Fig. 4-4. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ diagram of the Hangang estuary wetland in the (A) dry period (May, 2007) and (B) wet period (September, 2007). St.1, plant; *S. subfragilis*, St.2, plant; *P. australis*, St.3, plant; *B. planiculmis*.

4-3-2. 말뚝게 (*S. dehanni*)의 안정동위원소

이 시기에 채집한 개체들의 안정동위원소값에 대한 two-way ANOVA 결과를 보면 연급과 장소에서 $\delta^{13}\text{C}$ 과 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 유의하게 차이가 나는 것을 볼 수 있다 (Table 4-2). 특히 연급간의 차이보다 장소간의 차이에 대한 설명력이 더 크게 나타났다. $\delta^{13}\text{C}$ 과 $\delta^{15}\text{N}$ 값 모두 장소에 의해 유의하게 차이가 났지만, $\delta^{15}\text{N}$ 값의 장소 차이에 대한 설명력이 $\delta^{13}\text{C}$ 값보다 더 높았다.

Table 4-2. Analysis of variance results for a comparison of crab age class and site impacts on $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values

$\delta^{15}\text{N}$ value						$\delta^{13}\text{C}$ value					
Source	df	SS	F-test	p-value	% of SS	Source	df	SS	F-test	p-value	% of SS
Age	3	26	10.87	0.000	3.70	Age	3	34.1	5.40	0.001	3.00
Site	2	430.8	270.01	0.000	60.60	Site	2	456.5	108.41	0.000	40.70
Age × Site	6	28.1	5.88	0.000	4.00	Age × Site	6	33.8	2.68	0.015	3.00
Residual	283	225.7			31.80	Residual	283	595.9			53.20

말뚝계 연급별로 장소에 따른 $\delta^{13}\text{C}$ 과 $\delta^{15}\text{N}$ 의 one-way ANOVA 결과를 보면 모든 연령에서 유의하게 차이가 나지만 ($p < 0.001$), 소형개체에서의 설명력이 더 높았다 (Table 4-3). $\delta^{15}\text{N}$ 값의 장소에 의한 설명력은 소형개체에서 중대형개체로 갈수록 82.1%, 76.7%, 36.6%와 53.4%로 소형개체에서의 설명력이 더 컸다. $\delta^{13}\text{C}$ 값의 장소에 의한 설명력도 소형개체에서 중대형개체로 갈수록 55.2%, 43.6%, 43.7%와 35.5%로 소형개체에서의 설명력이 더 컸다. 이러한 장소에 대한 통계적 차이에 대한 설명력은 $\delta^{15}\text{N}$ 에서 더 높게 나타났다.

Table 4-3. Analysis of variance results for a comparison of site impacts on $\delta^{15}\text{N}$ value in each crab age class

$\delta^{15}\text{N}$ value						$\delta^{13}\text{C}$ value					
Age 1						Age 1					
Source	df	SS	F-test	p-value	% of SS	Source	df	SS	F-test	p-value	% of SS
Site	2	176.7	169.34	0.000	82.10	Site	2	139.6	45.64	0.000	55.20
Residual	74	38.6			17.90	Residual	74	113.2			44.80
Age 2						Age 2					
Source	df	SS	F-test	p-value	% of SS	Source	df	SS	F-test	p-value	% of SS
Site	2	179.4	123.26	0.000	76.70	Site	2	154.7	28.96	0.000	43.6
Residual	75	54.6			23.30	Residual	75	200.4			56.4

Table 4-3. continued

$\delta^{15}\text{N}$ value						$\delta^{13}\text{C}$ value					
Age 3						Age 3					
Source	df	SS	<i>F</i> -test	<i>p</i> -value	% of SS	Source	df	SS	<i>F</i> -test	<i>p</i> -value	% of SS
Site	2	49.8	21.65	0.000	36.60	Site	2	140.0	29.05	0.000	43.7
Residual	75	86.2			63.40	Residual	75	180.7			56.3
Age 4						Age 4					
Source	df	SS	<i>F</i> -test	<i>p</i> -value	% of SS	Source	df	SS	<i>F</i> -test	<i>p</i> -value	% of SS
Site	2	53.0	33.76	0.000	53.40	Site	2	56.0	16.26	0.000	35.5
Residual	59	46.3			46.60	Residual	59	101.7			64.5

4-3-3. 말뚝게(*S. dehaani*)의 지방산 분석

2007 년 5 월과 9 월의 세 장소에서의 각 말뚝게의 연급별 지방산 profile 을 주성분 분석한 결과를 보면 각 장소별로 두 계절 모두 구분이 되는 것을 볼 수 있다 (Fig. 4-5). PCA score 값에 의한 MANOVA 결과 ($p < 0.01$) 2007 년 5 월의 경우 각 장소별로 차이가 나며 장소내에서도 연급별로 차이가 나는 것을 볼 수 있다 (Fig. 4-5A). 1,2 축의 누적 설명력은 73.3%로 각각 49.9%, 23.4%의 설명력을 가지며 적재값을 보면 중대형개체일수록 18:3 ω 3, 18:2 ω 6 의 함량이 증가하고 16:1 ω 7, 16:0 가 감소하는 것을 보였다. St.2 에서 St.3, St.1 순으로 18:1 ω 9, 20:5 ω 3 의 함량이 증가하는 경향을 보였다. 2007 년 9 월의 경우, St.3 의 말뚝게들이 다른 두 장소가 차이가 나는 것을 볼 수 있으며, St.2 의 말뚝게는 연급별로 크게 나누어지는 것을 볼 수 있다 (Fig. 4-5B). 주성분 분석에 대한 누적 설명률은 80.3%이며, 1,2 축은 각각 66.6%, 13.7%의 설명력을 가진다. St.3 은 20:4 ω 6, 18:0, 20:5 ω 3 의 함량이 다른 두 장소에 비해 상대적으로 적어지는 경향이 있으며 St.2 의 중대형 개체 (Age 3-4)는 소형개체에 비해 20:4 ω 6, 18:0, 18:3 ω 3 의 함량이 많은 것을 보였다.

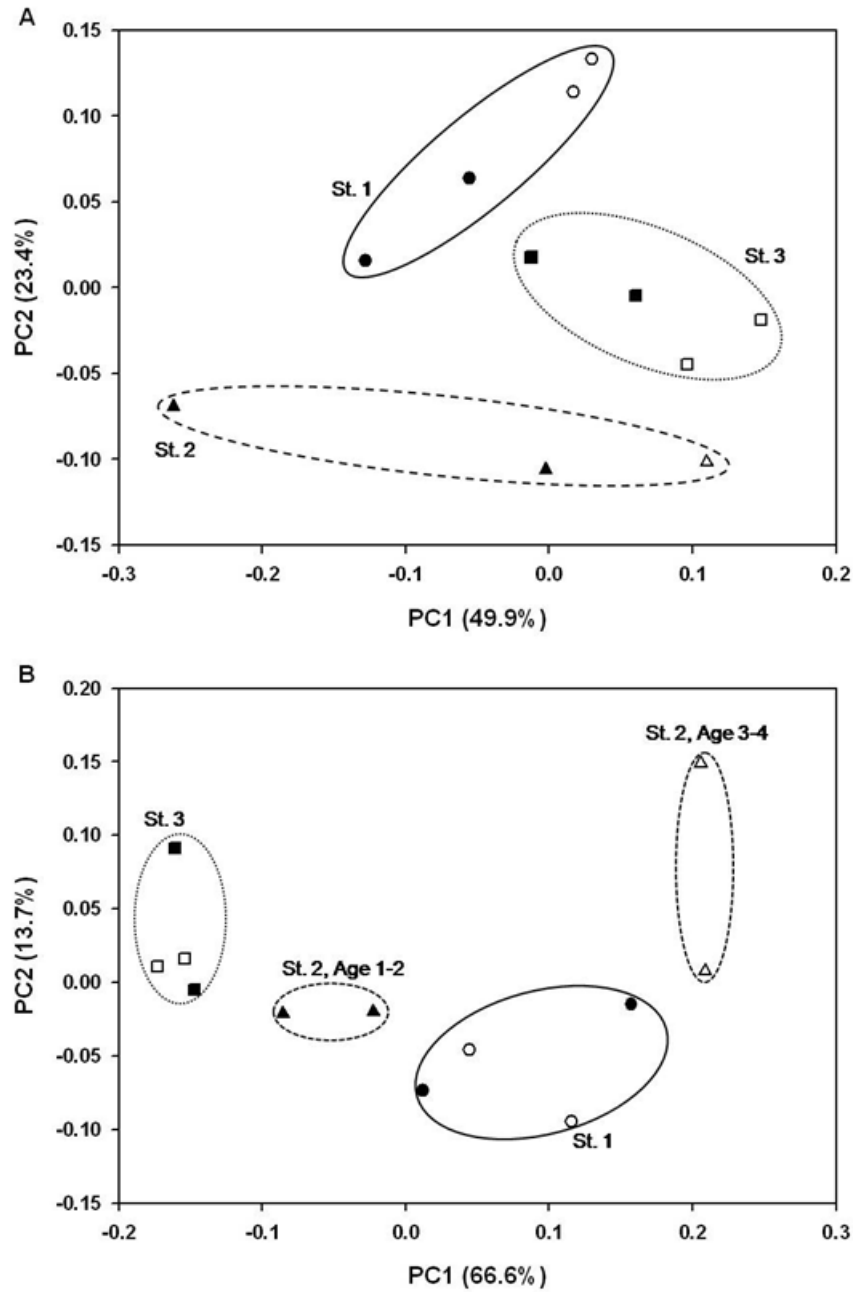


Fig. 3. PCA scores based on fatty acid profiles of *S. dehaani* of each age class in St.1, 2, 3 in the dry period (A) and wet period (B). ●; St. 1, Age 1-2. ○; St. 1, Age 3-4, ▲; St. 2, Age 1-2, △; St. 2, Age 3-4. ■; St. 3, Age 1-2, □; St. 3, Age 3-4.

2006 년 9 월과 10 월, 소형개체 (Age 1-2)의 지방산 profile 의 주성분 분석결과를 보면 장소별로 구분이 된다. 주성분 결과 누적 설명률은 75.8%이며, 1 축과 2 축이 각각 59.9%, 15.9%의 설명력을 가진다 (Fig. 4-6).

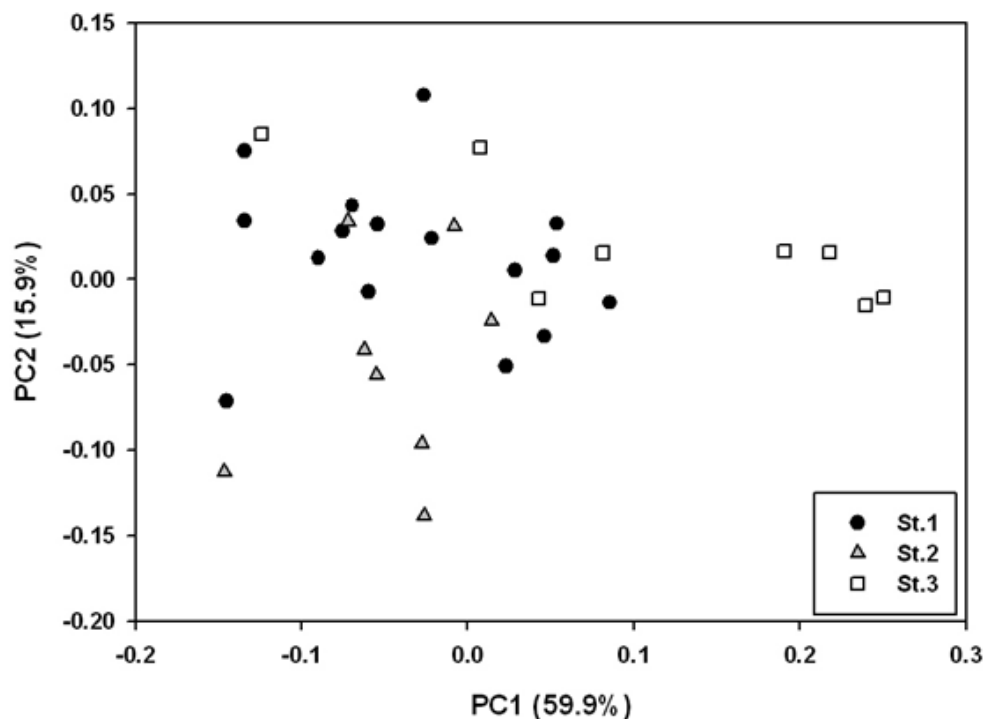


Fig.4-6. PCA scores based on fatty acid profiles of *S. dehaani* of age 1-2 in St. 1,2,3 in September and October, 2006.

주성분 분석 결과, 적재값을 토대로 세 장소간의 말뚝계를 구분 짓는 특정한 지방산을 그래프로 표시하였다 (Fig. 4-7). 18:3 ω 3 의 함량은 세 장소 모두 차이가 났으며 함량은 St.2, St.1, St.3 의 순으로 나타났다 (p<0.001). 16:1 ω 7 은 St.3 에서 다른 두 장소에 비해 2 배 가까이 높게

나타났으며 ($p < 0.001$), 20:5 ω 3 함량 또한 높았다 ($p < 0.05$). St.1 과 St.3 간에 18:1 ω 9 함량 차이가 나며 St.2 와 St.3 간에는 18:2 ω 6 함량이 유의하게 차이가 났다 ($p < 0.05$).

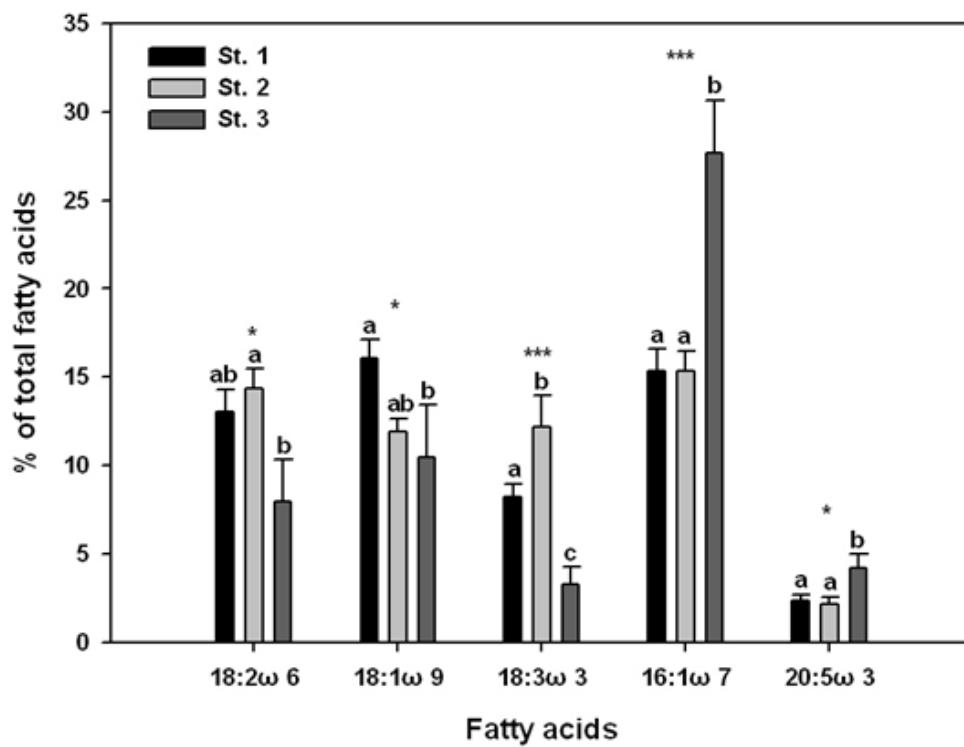


Fig. 4-7. Fatty acid content in age class 1-2 of *S. dehaani* in the three study site. Bars indicate average fatty acid content with error bars (\pm standard error) in September and October, 2006. (one-way ANOVA: *, p -value < 0.05 , **, p -value < 0.01 , ***, p -value < 0.001)

PCA 결과의 score 값을 가지고 판별분석을 실시한 결과, 9 월보다 10 월에 세장소간의 차이가 더 유의하게 나며 (9 월 : $p < 0.05$, 10 월: $p < 0.001$), 9 월의 경우, St.1 과 St.2 는 유의하게 차이가 나지 않으며 St.2 와 St.3 간의 차이 ($p=0.003$)가 St1 과 St.3 과 차이 ($p=0.048$)보다 더 유의하게 차이가 났다. 10 월의 경우, St.3 와 두 장소간의 차이가 St.1 과 St.2 의 차이 ($p=0.027$)보다 더 유의하게 나타났다 ($p < 0.01$) (Table 4-4).

Table 4-4. Results of MANOVA on PCA scores of each plot from PCAs of Fatty acid profiles

Season	Lambda	<i>p</i>	Group	<i>r</i>²	<i>p</i>
Sep., 2006	0.384	0.018	St1-St2	2.502	0.124
			St2-St3	9.443	0.003
			St1-St3	3.946	0.048
Oct., 2006	0.206	0.001	St1-St2	4.969	0.027
			St2-St3	7.431	0.008
			St1-St3	10.070	0.003

4-4. 고 찰

한강하구 기수역에서 상부 (St.1 장항습지), 중부 (St.2 공릉천하구습지), 하부 (St.3 성동습지)의 장소에 따른 말뚝게 (*Sesarma dehaani*), 선버들 (*Salix subfragilis*), 갈대 (*Phragmites australis*), 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*), 저토 (detrital sediment)의 안정동위원소와 지방산의 차이를 분석한 결과 세 장소간의 유사성은 매우 적었다. 이는 각 습지에 생육하는 섭식대상 식물종이 다르고 낙엽이나 유식물과 같이 섭식가능한 대상부위가 공급되는 시기가 달라서 생긴 차이라고 생각되었다. 또한 저토의 지방산조성과 안정동위원소 신호도 건조기 (dry period)와 다습기 (wet period) 그리고 습지위치에 따라 달랐으므로 이러한 먹이환경의 차이가 영향을 주었을 것으로 판단하였다. 그러나 말뚝게의 주요 섭식 대상인 저토와 식물의 안정동위원소를 분석한 결과 이러한 환경의 차이만으로 말뚝게의 섭식이 완전히 설명되지 않았다. 말뚝게가 식물과 저토만을 섭식하였다면 식물과 저토의 $\delta^{13}\text{C}$ 값 사이에 말뚝게가 위치하여야 하지만, 실제로는 St.1 와 St.3 에서 대부분 저토의 $\delta^{13}\text{C}$ 값의 위나 오른쪽에 위치하여 저토보다 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 높은 먹이를 섭식하였음을 보여주었다. 특히 다습기에는 St.1 과 St.3 에서 말뚝게 1,2 연급이 거의 대부분 저토를 섭식하였고 3,4 연급은 저토보다 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 높은 먹이를 섭식하는 것으로 나타났다. 이는 3,4 연급의 말뚝게가 식물체의 생잎 (St.1 에서는 선버들, St.2 에서는 갈대, St.3 에서는 새섬매자기)을 비롯하여, 낙엽, 어류 등을 섭식하는 현장관찰결과를 지지하며 St.1 에서의 연구결과 (Chapter 3)와도 일치한다. 특히 저토에

묻혀 있는 식물체의 낙엽이 가장 많은 기여를 했다고 판단되었다. St.2 의 경우 sediment 에 비해 말뚝계의 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 낮은 값을 갖게 되는데 이는 다른 두 장소에 비해 식물체에 의한 영향을 더 받은 것으로 생각된다(Fig. 4-4). 지방산분석 결과를 통해서도 18:2 ω 6 와 18:3 ω 3 의 함량이 다른 두 장소에 비해 높았다 (Meziane et al. 2006).

$\delta^{13}\text{C}$ 값과 $\delta^{15}\text{N}$ 값 모두, 모든 연급에서 장소별로 통계적으로 유의한 차이가 나며 연급이 증가할수록 설명력이 감소함을 알 수 있다. 이로 보아 중대형 개체일수록 다양한 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 가지며 이는 먹이원에 대한 선택범위가 넓고, 이에 반해 소형 개체는 특정 먹이원에 대한 의존도가 높은 것으로 판단된다. $\delta^{13}\text{C}$ 값은 기수 하부 (St.3)에 서식하는 개체일수록 높은 값을 가지고 있었으며, 이는 염도가 높은 지역에 서식하는 개체일수록 (Fry 2012 ; Kang et al. 2006), 기수하부 및 해안에 가까운 곳에 서식하는 개체일수록 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 더 높았던 다른 연구결과와도 일치한다 (Rodelli 1984 ; Doi et al. 2005). 또한 연급이 높은 개체일수록 $\delta^{13}\text{C}$ 와 $\delta^{15}\text{N}$ 값이 증가하는 것을 보였으며 이는 spider crab 의 연구에서도 일부지역에서 비슷한 양상을 보였다 (Bodin et al. 2007).

한편 동족포식 (cannibalism)의 경우 St.1 과 St.2 에서 말뚝계 3,4 연급이 1,2 연급에 비해 대체로 $\delta^{15}\text{N}$ 이 1~2‰ 높아 3,4 연급이 1,2 연급을 일부 포식함을 유추할 수 있었다. St.3 에서는 1,2 연급과 3,4 연급 사이의 $\delta^{15}\text{N}$ 의 차이가 뚜렷하지 않았으며 이는 St.1, 2 에 비해 St.3 가 완전히 개방되어 있는 지역이어서 말뚝계의 밀도가 상대적으로

낮아 동족포식의 기회가 적었기 때문으로 추정되었다. 또한 St.3 에서 말뚝게와 함께 출현했던 필콩게 (*Ilyoplax deschampsii*)는 말뚝게 1,2,3,4 연급에 비해 상대적으로 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 와 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 을 보여 말뚝게와 다른 먹이를 대부분 섭식하는 것으로 나타났으며 현장관찰결과 주로 갯벌의 유기물을 섭식하는 퇴적물식자이었다.

일반적으로 기수역 하류부는 상류부보다 해수의 영향을 많이 받는 지역이므로 연안에서 기인하는 규조류의 유입이 많다. 하구역에 위치하는 습지의 경우, 위치 및 식생에 따라 sediment 의 지방산 profile 이 다르며 (Andrea CA et al. 2006), 서식지 환경에 따른 주요 생물들의 안정동위원소 값도 다르게 나타난다 (Choy et al. 2008). 본 연구에서도 규조류에서 기인하는 16:1 ω 7 의 건조기 경향성이 매우 복잡하게 나타났다. 또한 이 시기 St.2 와 St.3 에서는 육상식물에서 기인하는 18:3 ω 3 이 St.1 에 비해서 다소 높게 나타나고 있다. 이는 St.2 와 St.3 가 개방형 습지로 말뚝게 개체군의 밀도가 낮은 반면 St.1 은 폐쇄형으로 집단 크기가 크고 개체군 밀도가 매우 높아 동족간의 포식이 쉬우므로 상대적으로 18:3 ω 3 의 조성이 낮아진 것으로 추론되었다. 또한 St.3 나 St.2 는 초본이 우점하는 습지로서 이 시기에 손쉽게 초본의 싹을 이용할 수 있고 St.3 의 새섬매자기는 St.2 의 갈대에 비해 비교적 조직이 부드러워 쉽게 쓰러져서 고사되어 섭식이 용이하므로 이용이 높았을 것으로 판단된다. 이에 비해 St.1 는 목본우점 습지로서 이 시기 싹을 이용하기 쉽지 않고 낙엽도 적은 시기이므로 먹이 이용률이 낮았을 것으로 판단되었다. 이번 연구를 통해 기존의 연구에서 biomarker 로 알려져 있는 diatom-16:1 ω 7 과 16:0 의 비 (Parrish et al. 2000) 또한 다른

지역에 비해 St.3 에서 높았으며 St.1 과 St.2 지역이 St.3 에 18:2 ω 6+18:3 ω 3 의 함량이 높은 것은 육상식물의 먹이 기원에 의한 것으로 볼 수 있다 (Meziane 2006). St.1 의 높은 18:1 ω 9 의 함량과 St.2 에서의 높은 18:2 ω 6 함량은 St.3 에 비해 상대적으로 육상환경에 가까운 두 지역이 곰팡이 기원 (fungal source)의 먹이를 섭식하였을 수도 있다 (Chen et al. 2001).

다습기에는 St.1 과 St.2 가 유사한 경향을 보였고, St.3 는 이들과 구별이 되었다. St.3 가 다른 두 습지에 비해 비교적 16:1 ω 7 이 높게 나타났으며, 이는 St.3 의 먹이사슬이 두 지역에 비해 보다 단순하여, 규조와 규조를 먹이원으로 하는 펄콩게 (*I. deschampsii*), 그리고 새섬매자기만을 섭식하는 반면, St.1 이나 St.2 는 보다 다양한 먹이를 섭식하기 때문에 그 경향성이 뚜렷하지 않게 나타났을 것으로 판단되었다.

결론적으로, 말뚝계의 지방산 조성, 동위원소의 영양위치는 같은 연급, 같은 시기일지라도 기수역의 상류부에서 하류부로 가면서 지역별로 차이를 나타내었으며 이는 각 지역의 환경적 요인에 따른 먹이원의 차이에서 오는 것으로 유추해 볼 수 있다. 상부의 St.1 은 담수영향이 우세하며 선버들 낙엽을 비롯한 내생 유기물 및 외부 유입 유기물 등 복잡한 먹이원이 존재한다. 그에 비해, 하부의 St.3 는 해수의 영향이 우세하며 새섬매자기가 생산하는 내생 유기물과 펄콩게가 섭식하는 갯벌퇴적물에 대한 의존도가 상대적으로 높다. 중부의 St.2 는 다른 두 습지에서 나타나는 중간 형태를 보였다. St.3 의 말뚝계가 다른 개체에

비해 육상식물의 biomarker 인 ALA 는 적고 규조류의 biomarker 인 EPA 함량과 16:1 ω 7 가 높은 것은 해양의 영향을 많이 받는 곳이며 개방된 환경으로 말뚝게 개체군의 밀도가 낮아 동족포식의 기회가 적어 먹이원이 부족한 환경에서 규조류를 포함한 sediment 에 대한 의존도가 높아진 것이라 판단된다. 즉, 말뚝게는 기수역 하류부의 경우 해양기원의 먹이원을 섭취하고 소형개체의 경우 sediment 에 대한 의존도가 높다. 또한 장소에 의한 말뚝게의 지방산 조성 및 안정동위원소 값의 차이가 소형개체에서 더 뚜렷한 이유는 주변 환경에 의한 먹이원의 의존도가 중대형개체보다 높고 중대형 개체일수록 동족포식을 비롯한 육식성 먹이와 낙엽 등 장소에 비의존적인 다양한 먹이를 섭식할 수 있기 때문이라고 판단된다.

기수역이 발달한 하구의 습지내에 서식하는 말뚝게는 해양과의 근접거리, 우점하는 식물군락의 종류와 생장유형, 개방형 또는 폐쇄형의 서식지 구조, 어린개체군의 밀도 등에 의해 장소와 계절에 따라 먹이원의 선택 범위가 다르고 이로 인해 계절적으로 장소적으로 다양한 먹이그물의 형태를 가지고 있음을 알 수 있었으며 향후 해양기원 먹이원의 실체에 대한 규명이 요구된다.

제 5 장
종합고찰
Dicussion

5-1. 종합결론

5-1-1. 한강하구 기수역의 구분

한강하구 기수역에 발달한 습지식생을 상관 (Physiognomy)에 따라 군락을 구별하였다. 한강하구는 우리나라 대하천 중 하구언이 없는 자연하구로서 기수역의 염도구배가 연속적으로 나타나지만 우점식생은 뚜렷하게 불연속적으로 구별되었다. 한강하구에 출현하는 7 개의 하천습지 (riverine wetland) 중에서 기수상부와 기수중부, 기수하부를 식별할 수 있는 우점군락을 선택하였다. 기수상부의 식별군락은 선버들 (*Salix subfragilis*)군락이었으며 기수중부 이하로는 출현하지 않았다. 기수중부의 식별군락은 갈대 (*Phragmites australis*)군락이었으며 담수구간에서 염습지구간까지 폭넓게 분포하지만 염습지 식생인 모새달 (*Phacelurus latifolius*)군락과 대규모로 혼생하면서 전체 습지중 갈대의 피도와 식피율이 최대로 나타났다. 기수하부의 식별군락은 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*)군락으로 기수상부와 기수중부에도 일부 단편적으로 출현하지만 이 지역에서 새섬매자기 순군락의 피도와 식피율이 최대로 나타났다.

Table 5-1. Zonation of brackish water zone and dominant species in Hangang estuary

기수역 구분	염도 (psu)	습지명	우점종	아우점종
기수 상부	0 ~ 0.5	장항습지	선버들 (<i>Salix subfragilis</i>)	갈대 (<i>Phragmites australis</i>)
기수 중부	0.5 ~ 2.8	공릉천하구습지 (하천유입부)	갈대 (<i>Phragmites australis</i>)	모새달(<i>Phacelurus latifolius</i>)
기수 하부	2.8 ~ 8.2	성동습지	새섬매자기 (<i>Phacelurus latifolius</i>)	모새달(<i>Phacelurus latifolius</i>)

5-1-2. 기수역 상부의 선버들 (*S. subfragilis*)과 말뚝게 (*S. dehanni*)의 생산성과 상호 관계

기수상부와 기수중부, 기수하부의 각각의 식물군락에 공통적으로 출현하는 십각류는 말뚝게 (*S. dehanni*)이며 이들은 기수역 각 습지 내에서 우점하는 저서생물 (benthos)이다. 말뚝게는 다양한 먹이원을 섭식하는 잡식성 식자 (omnivores)로서 한강하구생태계의 가장 중요한 구성인자이었다. 특히 기수상부 장항습지의 서식 밀도가 단위면적당 32 마리로 매우 높았으며 이는 현장에서 관찰된 선버들군락의 빠른 성장과 연관관계가 있을 것임을 시사하였다. 또한 말뚝게의 섭식행동을 관찰한 결과 이들의 주요 먹이원은 서식굴 주변의 식물, 습윤한 저토, 그리고 먹이원으로 획득이 가능한 동물들이었으며 특히 획득하기 어려운 동물성 먹이보다는 식물성 먹이와 저토를 섭식하는 행동이 주로 관찰되었다. 말뚝게는 각 식물군락 내에 서식굴을 파고 굴 주변에서 생활하는 정주자로서 서식굴과 수로를 중심으로 조수로를 따라

간만조 직전과 직후, 그리고 야간을 이용하여 이동하면서 섭식하는 경향을 보였다. 또한 11 월이후부터 3 월까지는 서식굴을 막고 식물군락내 지하부에서 가동면하였으며 이 기간동안이라도 일시적으로 영상의 기온이 지속되는 시기에는 동면에서 깨어나 섭식활동을 하기도 하였다.

기수상부의 선버들(*S. subfragilis*)군락에 영구방형구를 설치하고 선버들군락의 현존량과 순 1 차 생산성을 상대생장법 (allometry)과 기저 단면의 나이테를 이용하여 추정하였고, 선버들군락 하부에 서식하는 말뚝게 개체군의 2 차 생산성을 추정하였으며 두 개체군 간의 상호작용을 해석하였다. 선버들군락의 1 차 순생산성은 $4777 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 으로서 국내에서 최고의 생산성을 나타내었다. 이는 관목상의 맹그로브류인 *Avicennia marina* var. *resinifera* (John et al. 1987)이 하천역 하구에서 $2458 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이었고, 연안역 하구에서 $1607 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이었으며 *Rhizophora apiculata* (Francis 1986)는 30 년 평균 $1170 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 으로 보고한 것에 비해 다소 높으며 이는 관목류와 연목류(아교목)의 차이로 보인다. 낙엽량은 *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, and *Avicennia germinans* 에서 $1,417 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (Flores-Verdugo et al. 1990)로 선버들 앞에 비해 다소 높았으며 이는 혁질의 대형잎과 소형의 버드나무잎의 물리적인 차이로 보인다.

Sesarmine crab 류의 2 차생산성은 Southeast Asia 에서는 $11 \sim 459 \text{ kJ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (Macintosh 1988), mud flat 평균 $611 \text{ kJ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, sandflats 평균 $742 \text{ kJ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, temperate salt marshes 평균 $256 \text{ kJ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, seagrass

beds $1381 \text{ kJ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, mussel beds $7755 \text{ kJ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (Volker & Matthias 2002)로 장항습지는 말뚝게 1g 에 탄소만 있다고 가정하고 $1 \text{ g} = 4 \text{ cal} = 4 \times 4.2 \text{ J} = 16.8$ 로 추정하면 약 평균 $1680 \text{ kJ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 seagrass beds 에서의 생산성과 비슷한 수준으로 보인다.

장항습지에서 선버들에 의해 저토로 공급되는 내생유기물량은 $359 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 이었으며 외생유기물량은 $347 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 나타났다. 말뚝게의 2 차 생산성은 $100.2 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 1 차생산성의 2.6%로 나타났다. 선버들군락 내에서 1 m^2 당 약 0.14 kg 의 말뚝게 개체군은 연간 약 2.14 kg 의 먹이를 소비하였고, 말뚝게 생체량은 평균 136 g C m^{-2} 이었으며 연간 $2140 \text{ g FW yr}^{-1}$ 의 먹이를 소비하였다. 말뚝게의 연간 섭식량 (유기물)은 약 $208 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 추정되었다. 장항습지 성숙한 말뚝게 (Age3,4)가 저토와 식물만을 섭식한다고 가정하고, 내생유기물 (autochthonus)은 선버들만이 공급한다고 가정할 때, 범람이 이루어지지 않는 시기에는 연간 선버들공급량의 60%를 말뚝게가 섭식 (맹그로브계는 80% 섭식한다고 추정되었음)하고, 홍수기 범람이 있을때는 연간 선버들공급량의 30%를 섭식한다고 추정할 수 있다 (Fig. 5-1). 그런데 안정동위원소와 지방산 조사결과 다양한 동물성 먹이도 섭식하였으므로, 맹그로브계의 실내섭식 실험결과에 따라 저토 70%, 맹그로브잎 10%, 동물성먹이 20%를 섭식한다는 결과를 적용하면, 범람이 있을 때 외생유기물 $145.6 \text{ C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (70%), 내생유기물 $35.9 \text{ C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (10%), 동물성먹이 $26.5 \text{ C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ (20%)를 섭식한다고 할 수 있다.

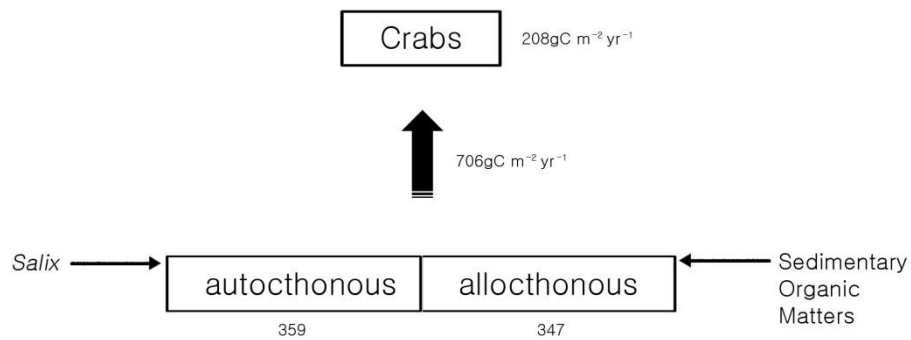


Fig. 5-1. Amount of autochthonous and allochthonous organic matter at *Salix subfragilis* and *Sesarma dehmani* organic matter.

이상의 결과를 통해 장항습지의 주요 생물구성원인 선버들군락과 말뚝게군집이 모두 높은 생산성을 가지고, 특히 말뚝게의 높은 현존량과 높은 섭식량이 두 종간에 호혜적 상호작용에 기인할 것임을 추론하였으며 (1) 갯도 굴착행동 (burrowing activity)에 의한 토양 산소량의 증가 (ventilation), 그리고 (2) 활발한 대사활동에 의한 시비효과 등을 유추하였다. 이러한 말뚝게와 선버들간의 상호관계는 상리공생 (mutualism) 관계에 해당할 것으로 판단하고 두 종에 대한 섭식 관계를 확인하기 위해 안정동위원소 모니터링과 지방산 지표를 활용하여 이를 증명하였다. 또한 이러한 상리공생이 확실시된다면 조건적 상리공생 (facultative mutualism) 여부를 확인하기 위하여 선버들이 생육하지 않는

기수중부와 기수하부의 타 식물 우점 습지생태계 내에서 식물과 말뚝게의 섭식 관계를 비교해 보았다.

5-1-3. 탄소와 질소 안정동위원소와 지방산 biomarker를 이용한 말뚝게(*S.dehaani*)의 먹이그물구조

선버들 (*Salix subfragilis*) 우점 습지생태계에서 탄소와 질소 안정동위원소와 지방산 biomarker 를 이용하여 말뚝게 (*S. dehaani*) 를 중심으로 먹이그물 구조와 에너지의 흐름을 규명하였다. 선버들의 동위원소는 계절적으로 뚜렷한 차이를 보였고 선버들의 지방산은 봄에 특히 18:3 ω 3 이 증가하고 가을에는 감소하는 경향을 보였다. 저토는 풍수기에는 상대적으로 높은 $\delta^{15}\text{N}$ 값과 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 보였고, 갈수기에는 상대적으로 높은 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 낮은 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 보였다. 또한 봄철과 가을철에는 저토의 $\delta^{13}\text{C}$ 값과 $\delta^{15}\text{N}$ 값 모두 증가하는 경향을 보이지만 여름철에는 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 일정하게 유지되고 $\delta^{15}\text{N}$ 값은 감소하는 경향을 보였다. 말뚝게는 연간 -25.8‰ ~ -23.3‰의 $\delta^{13}\text{C}$ 를 가졌으며 선버들의 생잎 (-30.5‰), 낙엽 (-29.6‰)과 저토 (-25.1‰ ~ -24.8‰)의 $\delta^{13}\text{C}$ 값보다 커서 이들보다 더 무거운 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 가진 먹이들이 존재함을 시사하였다. 또한 성숙한 말뚝게 (Age3, Age4)는 연간 8.9‰정도의 $\delta^{15}\text{N}$ 을 가져서 선버들의 생잎 (7.9‰)이나 저토 (5.0~5.8‰)보다 1‰ ~ 3.9‰ 높으므로 이들을 섭식하거나 7.7‰ ~ 7.9‰의 $\delta^{15}\text{N}$ 값을 가진 미성숙 말뚝게 (Age1, Age2)와 기타 먹이원을 섭식하는 것으로 판단하였다. 또한 말뚝게의 지방산 주성분분석 결과, 미성숙 말뚝게 (Age1, Age2)와 성숙한 말뚝게 (Age3, Age4)가 뚜렷하게 구분되어 이들의

먹이 종류가 다를 수 있었다. 장항습지의 지방산 biomarker 로는 남세균이 부착한 저토에 주로 우세한 16:0, 18:1 ω 9 및 18:3 ω 3 와, 선버들에 우세한 18:2 ω 6, 18:3 ω 3, 규조류가 우점하는 저토에 우세한 16:1 ω 7 와 22:2 가 선택되었다. 이중에서 말뚝게의 크기별 지방산 조성은 미성숙 말뚝게 (Age1, Age2)는 16:1 ω 7 이 높게 나타나고, 성숙한 말뚝게 (Age3, Age4)에서는 18:3 ω 3 가 높게 나타났다. 따라서 미성숙 말뚝게 (Age1, Age2)의 먹이원은 저토가, 성숙한 말뚝게 (Age3, Age4)의 먹이원은 식물성 먹이원이 주로 기여함을 알 수 있었다. 그리고 성숙한 말뚝게 (Age3)을 이용한 주성분 분석에서 계절적 영향과 선버들 등 식물성 먹이원의 양에 따라 봄에는 16:1 ω 7 이 감소하고, 가을에는 18:2 ω 6 이 증가하여 봄은 주로 저토를, 가을은 선버들 등의 식물성 먹이와 기타 먹이를 선호하는 섭식 경향이 나타났다. 이러한 안정동위원소와 지방산 분석결과를 종합하면, 미성숙 말뚝게는 저토를, 성숙한 말뚝게는 식물성 먹이를 선호하였고, 성숙한 말뚝게의 경우 건조기 (봄철)에는 저토를 선호하고, 다습기 (여름철)에는 저토보다는 선버들의 잎을 선호하고 나아가서 미성숙 개체를 동족포식하는 경향이 나타났고 수역의 어류 중의 일부를 섭식하는 것으로 나타났다. 특히 어류의 현장관찰결과 이 지역 어부들이 누치를 포획한 후 경제성이 없어 조류먹이원으로 제공하였고 이를 말뚝게가 손쉽게 섭식하고 있어서 분석결과와 일치함을 확인하였다. 그리고 다년간의 관찰과 영상기록 (KBS 환경스페셜 '철책의땅 한강하구' 2005)에 의해 말뚝게의 주요 포식자는 너구리 (raccoon dog, *Nyctereutes procyonoides*)와 왜가리 (*Ardea cinerea*)

jouyi), 해오라기 (*Nycticorax nycticorax nycticorax*), 중대백로 (*Egretta alba modesta*)와 같은 백로류 (egret)임을 확인하였다.

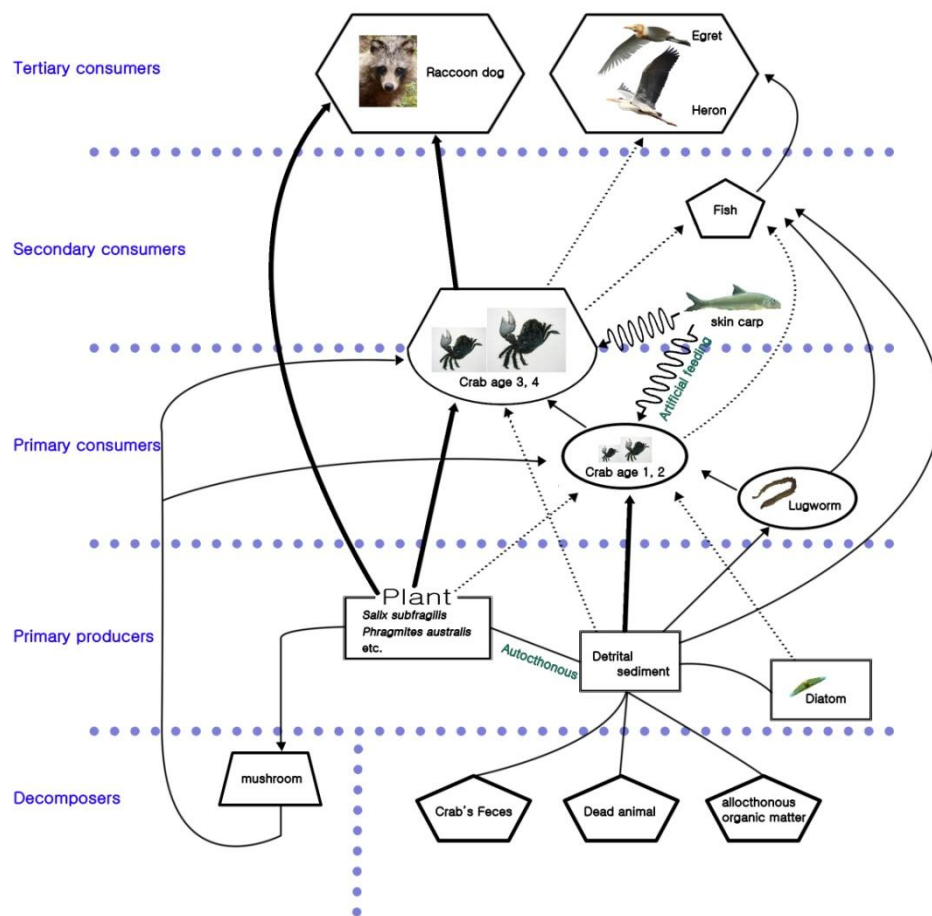


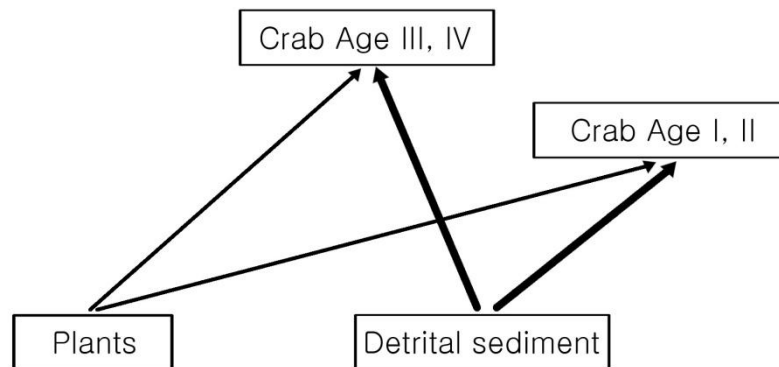
Fig. 5-2. Food web of Janghang wetland.

또한 한강하구 전역에 서식하는 말뚝게의 서식공간과 계절의 변화에 따른 먹이원 변화 양상을 알아보기 위해 기수역 상부, 중부, 하부에서 말뚝게, 저토, 식물먹이원의 안정동위원소와 지방산 biomarker 를 분석하였다. 해수의 영향이 상대적으로 적은 기수 상부에 위치한

장항습지 (St.1)는 선버들군락이 우점하며, 기수역 하부에 위치하지만 담수가 지속적으로 공급되는 공룡천하구습지 (St.2)는 갈대군락이 우점하고, 기수역 하부의 성동습지 (St.3)는 새섬매자기군락이 우점하였다. 말뚝계의 가동면 이후 비교적 건조한 시기가 지속되어 먹이활동이 활발히 진행되지 않은 5 월보다 고온다습하고 강수량이 많아 생장과 섭식을 계속하는 9 월에 말뚝계의 안정동위원소 값과 지방산 profile 의 장소에 따른 차이가 더 컸으며, 성숙한 말뚝계 (Age3, Age4) 개체보다 미성숙한 말뚝계 (Age1, Age2) 개체가 더 영향을 많이 받았다. 기수역 하부로 갈수록 말뚝계의 $\delta^{13}\text{C}$ 값, $\delta^{15}\text{N}$ 값은 높았으며, 저토의 경우 기수역 상부에 위치한 장항습지 (St.1)가 다른 두 지역에 비해 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 낮았다. 식물체의 경우, 계절에 따라 점점 낮은 $\delta^{13}\text{C}$ 값을 보였다. 지방산 분석결과, 연령보다 장소에 의한 차이가 더 뚜렷하였으며 특히 미성숙 말뚝계 (Age1, Age2) 개체의 장소에 대한 영향이 더 컸다. 미성숙 개체일수록 규조류의 biomarker 인 16:1 ω 7 의 함량이 높고 식물체에 상대적으로 많이 함유된 18:3 ω 3, 18:2 ω 6 의 함량이 낮았다. 그리고 미성숙 개체간의 비교에서 기수역 하부에 위치한 성동습지 (St.3)의 말뚝계가 다른 두 습지의 개체보다 16:1 ω 7, 20:5 ω 3 (EPA)의 함량이 높았으며 18:3 ω 3, 18:2 ω 6 의 함량은 상대적으로 낮았다. 안정동위원소와 지방산 분석결과를 종합해보면, 성숙한 말뚝계 (Age3, Age4) 개체에 비해 미성숙 말뚝계 (Age1, Age2) 개체의 먹이원이 다양하지 않고 저토를 비롯한 몇 가지 먹이원에 대한 의존도가 높으며 기수하부로 갈수록 해양성 먹이원에 대한 영향이 더 커진 것을 의미한다. 성동습지 (St.3)의 경우, 새섬매자기군락 우점 습지로 다른 두 습지에

비해 개방적인 형태이며 저토를 비롯한 특정 먹이원에 대한 의존도가 상대적으로 더 클 것으로 생각된다.

A. Dry Period



B. Wet Period

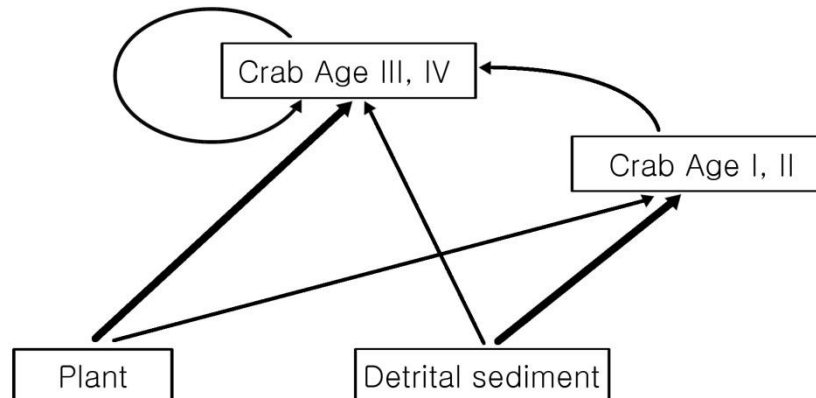


Fig. 5-3. Preference for food source of *Sesarma dehaani* in the dry period (A) and in the wet period (B) at Hangang estuarine wetland.

5-2. 향후 전망과 과제

5-2-1. 한강하구의 생태계 기반 관리 방안

첫째, 현존하는 생태계 교란요인에 대한 분석과 대책은 물론이고 예측 가능한 잠재적인 위협요인에 대한 사전 관리가 필요하다.

Table 5-2. Potential risk factors in Hangang estuarine wetland

습지권역	위협요인
장항습지권역	신도시건설로 인한 철새먹이터 소실, 도로 및 다리 개발로 인한 서식지 단편화, 골재채취, 철책제거로인한 과도한 출입과 교란행위, 과도한 어로행위, 외래종침입, 관행농업, 자전거도로건설, 과도한 하천정비공사, 조수로 소실, 신곡수중보 이설계획, 주운 수로개발 계획
산남습지권역	도로 개발로 인한 서식지 단편화, 과도한 어로행위, 관행농업, 농업용 토제방, 석축제방 신설, 대교건설, 갈대 목초이용
곡릉천하구권역	도시 확장으로 인한 먹이터감소, 과도한 사진촬영행위, 하천변 운동객, 퇴적으로 인한 먹이식물 감소, 갈대 목초이용
성동습지권역	과도한 하천정비, 군사용 도로 확장, 배수로 확장 등의 공사로 인한 외래종 침입, 자연적 천이로 인한 먹이식물감소

그런데 잠재적 위협요인들에 대한 당위적인 대책은 실질적인 생태계 관리에 도움이 되지 않는다. 보다 구체적인 영향을 예측할 수 있어야 하며 우선적으로 검토해야 할 부분은 먹이그물의 교란에 대한 세부적인 검토이어야 한다. 이번 연구 결과에 의하면 한강하구의 생태계는 강한 상호작용이 있는 생물구성원으로 구성되어 있으며 우점종을 중심으로 단일한 식물군락으로 구성된 습지가 분포한다. 외부의 교란요인으로 먹이그물 중 주 생물종이 피해를 입게 되면 이에 의존하고 있는 생물종의 연쇄적인 피해가 빠른 속도로 진행될 확률이 크다고 할 수 있다. 그러므로 교란 요인에 대한 생태학적 모니터링과 그 결과를 즉각적으로 관리에 반영하는 적응 관리(adaptive management)의 원칙이 일관되게 적용되어야 할 것이다.

둘째, 선버들군락의 말뚝게 서식지를 관리하기 위해서는 습지 내로 조수가 유입되는 조수로 (tidal channel) 관리가 필수적이다. 일반적으로 조수로는 조수간만의 차에 의해서 자연스럽게 하구갯벌과 습지내에 생성이 되지만 상류부에서 하천유지용수를 일정하게 조절하면 습지로 범람하는 기회가 줄어 들고 이로 인한 침식도 줄어 들게 된다. 주기적인 범람과 퇴적 현상이 사라지면 상대적으로 표고가 높은 선버들군락은 식생에 의해 퇴적우세 현상을 보이며 결과적으로 조수로가 토사로 인해 막히게 된다. 조수로가 사라진 선버들군락 하부는 육화되어 들깨 (*Perilla frutescens* var. *japonica*)나 가는잎쑄기풀 (*Urtica angustifolia*), 가시박 (*Sicyos angulatus*) 등 육상식물로 천이되고 말뚝게 서식지는 소멸되고 만다. 이들 서식처의 소멸을 막기 위해서 지속적으로 조수로를 열어주어야 하며 이는 이 지역의 전통적인 뱀장어 (*Anguilla*

japonica)어업을 활성화시킴으로써 가능하다. 이 지역의 뱀장어 어업은 봄철 정치망으로 뱀장어 치어 (실뱀장어)를 잡는 방법과 장마철이나 폭우가 빈번한 풍수기에 각망을 이용해 뱀장어 성체 (성만장어)를 포획하는 방법, 그리고 배위에서 갯지렁이를 장대에 감아 낚아 채는 뭇치대법 등으로 시행되고 있다. 특히 뱀장어 성체를 포획하기 위해서는 조수로를 막히지 않게 관리해야 하며 풍수기전에 조수로를 뚫어 뱀장어가 선버들군락내로 들어올 수 있도록 관리한다. 이러한 선버들군락내 뱀장어 어업은 어민들의 생계수단일뿐만 아니라 선버들군락의 육화를 방지하고 생물다양성을 높이는 필수활동이다. 실제 현장관찰에서 조수로를 통해 습지 내로 물이 유입되는 선버들군락에는 육상식물들이 침입하지 못했고, 조수로 주변에 말뚝게 개체수가 증가하였으며 밀새우 (*Palaemon carinicauda*)나 미꾸라지 (*Misgurnus mizolepis*) 등 습지생물들에게 서식처를 제공하였다. 더불어 멸종위기생물종 1 급인 저어새 (*Platalea minor*)가 선버들군락 내 조수로에서 먹이활동을 하는 것이 관찰되기도 하였다.



Opening the tidal channel closed
by sediment



High tide at willow forest



Sesarma dehaani at the tidal
channel



Black-faced spoonbill in at the tidal
channel

Fig. 5-4. Management of tidal channel in Janghang wetland. After opening the closed tidal channel, many species including crabs, black-faced spoonbill could be found in it.

셋째, 먹이식물의 보전 및 복원에는 대상종에 대한 생태적 지식과 다학제적 접근이 필요하다. 선버들의 경우 생장률은 6 년생까지 왕성하게 성장하였지만 현장에서는 6 년생 이하의 개체가 자기숙음에 의해 고사하는 경우도 빈번하게 관찰되었다. 또한 선버들군락 내에서 종자에

의해서 발아되는 유식물은 관찰되지 않았으며 주로 수변부 갯벌에서 발아하지만 홍수기에 유실되는 경우가 많았다. 그러므로 선버들군락의 관리는 현재의 생물량의 변동과 발아율, 생장조건, 유식물 위협요인에 대한 모니터링을 실시하고 이를 관리해 줄 필요가 있다. 또한 먹이식물 중 새섬매자기는 적극적으로 복원해야 할 대상종이다. 한강하구에 서식하는 주요 생물종인 재두루미 (*Grus vipio*), 저어새 (*Platalea minor*), 큰기러기 (*Anser fabalis*), 개리 (*Anser cygnoides*), 고라니 (*Hydropotes inermis*), 말뚝게 (*Sesarma dehaani*) 등은 공통적으로 새섬매자기 (*Bolboschoenus planiculmis*)를 먹이원으로 하고 있기 때문이다. 이들의 먹이가 되는 새섬매자기는 한강하구와 낙동강하구에 대규모로 생육하고 있으나 빠르게 소멸하고 있는 종이다. 이번 연구 중에 실시한 예비실험에서 갈대가 없는 소 (沼) 형 (pond type) 생육지에서는 이식을 실패한 반면 갈대를 제거한 개방형 (flat type) 생육지에서는 성공하였으나 하구의 수문수리를 고려하지 않아 장마철에 대부분 유실되었고 지형복원이 수반되지 않아 건조 환경이 지속되어 건조 내성식물인 천일사초나 갈대로 다시 천이가 되기도 하였다. 그러므로 향후 새섬매자기 관리 및 복원은 생태학적 복원조건을 찾고 수문수리학, 퇴적학, 지형학 등의 학문들과 협업하여 서식지적합성을 평가하고 이식 기술을 개발할 필요가 있다.



Fig. 5-5. Fruits and tubers of *Bolboschoenus planiculmis*.

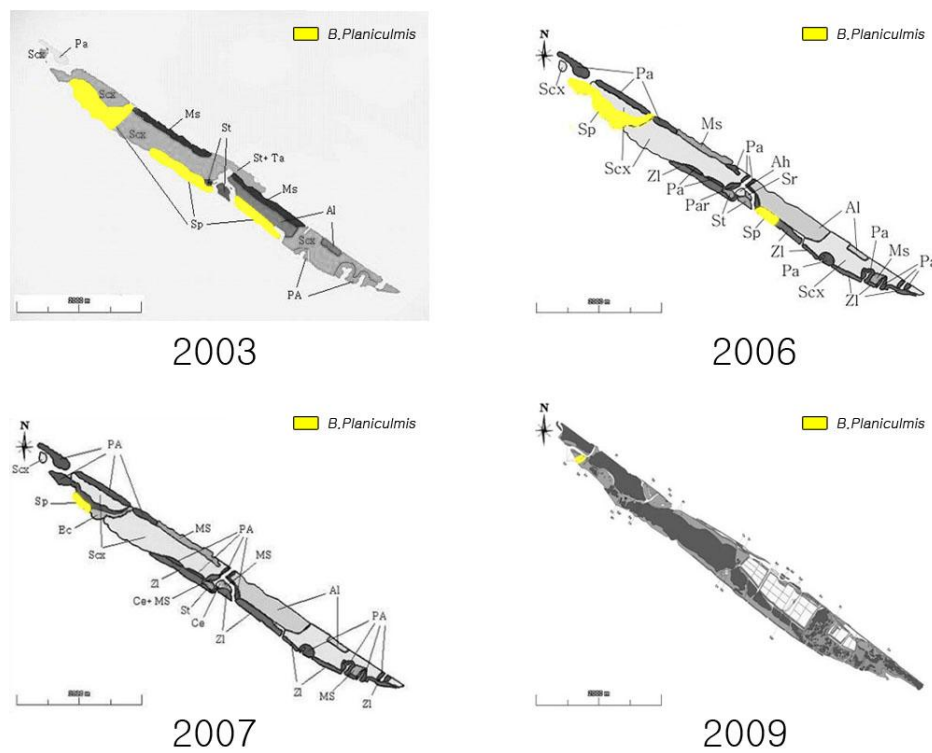


Fig. 5-6. The change in size of *Bolboschoenus planiculmis* community (2003 ~ 2009 (unpublished)).

5-2-2. 한강하구 향후 연구과제

이 연구는 한강하구 습지생태계의 1 차생산자 및 1 차소비자를 중심으로 먹이그물을 단순화하였지만 실제로 자연계에서는 더 많은 생물구성요소들이 먹이그물에 관여한다. 그러므로 향후에는 선버들과 말뚝게 이외에 저서생물이나 조류, 포유류 등의 생물군을 참여시켜 전체 생태계를 대상으로 먹이그물을 정량화시키는 연구가 필요하다. 습지의 먹이그물연구는 낮은 단계의 trophic level 에서는 비교적 시료채취가 용이하지만 높은 단계로 올라갈수록 확보가 어렵다. 특히 포유류나 조류는 개체수가 적어서 시료량이 절대적으로 부족하거나 중요종들은 멸종위기종으로 지정되어 있어서 포획하여 시료를 얻는데 많은 어려움이 있다. 그러므로 이들 상위 영양 생물종들과 먹이원과의 관계를 생태학적으로 연구하기 위한 새로운 시도가 필요하며, 최근에는 포유류의 분변을 이용한 연구가 시도되고 있다. 더불어 선버들군락 내에 서식하는 말뚝게는 이 생태계 내에서 keystone species 임을 추론되며 이는 말뚝게의 굴착행동 (burrowing action)으로 인한 선버들 지하부의 토양산소량 증가 (ventilation)와 활발한 대사활동으로 인한 시비효과 등이 예상되기 때문이다. 그러므로 이러한 추론을 증명하기 위해서는 동일한 조건의 선버들군락내에서 말뚝게를 포획하여 제거한 후 토양과 식생의 변화를 대조구와 비교하는 것이다.

그리고 선버들군락 주변에서 섭식 기회가 있을 수 있는 어류와 갯지렁이 등의 수생태계를 대상으로 선버들과의 연관성을 찾는 연구도 필요하다. 특히 뱀장어잡이에 대한 생태학적 예비 실험결과 뱀장어

장내에서 다양한 식물성 먹이들이 출현하였으며 이는 장항습지 내에
뱀장어가 영양순환에 일정한 역할을 할 수 있다는 가능성을 의미한다.
나아가서 선버들이나 새섬매자기 개체군의 동태와 복원에 대한 연구도
필요하다.

a. 안정동위원소와 지방산 분석을 통한 Food web 연구

- 조류, 포유류와 먹이식물과의 관계 연구
- 뱀장어 등 회류성 어류 및 해양생물들과 말뚝게의 먹이관계

b. 말뚝게의 선버들의 호혜적 관계 증명

- 말뚝게의 선버들군락에 미치는 영향 (keystone species 의 여부)
- 선버들의 말뚝게 활성화도에 미치는 영향

c. 선버들, 새섬매자기 등 기수역 식물군락의 개체군동태와 복원 연구

- 새섬매자기 복원 및 서식지적합성평가
- 선버들 개체군간의 종간경쟁과 자기숙음현상

제6장

인용문헌

Reference

제 1 장

국립환경과학원(NIER). 2005. 하구역 생태계 정밀조사. 환경부.

박경수. 2004, 한강하구역의 염분 분포 및 생태환경특성, 한국습지학회지 6(1), 149-166.

한국환경정책평가연구원(KEI). 2007. 한강하구 습지보전계획 수립 연구. 한강유역환경청.

한동욱, 김웅서. 2010. 자연습지가 있는 한강하구 - 황해와 한강의 생명이 깃든 곳. 지학사.

한동욱, 유영한, 조인수, 김선이, 오소연, 한슬기. 2010a. 한강하구 장항습지내 새섬매자기군락 복원연구. 복원생태학회지 1 (1): 9~15.

한승주, 김현우, 김해란, 김혜주, 한동욱, 박상규, 유영한. 2010b. 하천변 버드나무군락의 순 1 차생산량, 유기탄소 흡수량과 낙엽분해. 한국습지학회지 12(1) 15 – 22.

한반도생물자원포털. 2013.

http://www.nibr.go.kr/species/home/species/spc01001m.jsp?cls_id=46899&from_sch=Y.

Christensen NL, Bartuska A, Brown JH, Carpenter S, D'Antonio C, Francis R, Franklin JF, MacMahon JA, Noss RF, Parsons DJ, Peterson CH, Turner MG and Moodmansee RG. 1996. The report of the Ecological Society of America Committee on the scientific basis for ecosystem management. Ecological Applications. 6 : 665-691.

Cronk JK and Fennessy MS. 2001. Wetland Plants - Biology and Ecology. Lewis Publ.

Elliot M and McLusky DS. 2002. The Need for Definitions in Understanding Estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 55(6) : 815–827.

Fairbridge Rhodes W. 1968. *The Encyclopedia of Geomorphology*. Ed. Reinhold. New York.

Larcher W. 1980. *Physiological plant ecology*. 2nd(eds.). Springer, Berlin Heidelberg New York.

Szczukowski S, Tworkowski J, Stolarski M. 2003. Characteristic of willow coppice biomass as a stock material for methanol production. *Warszawa* 143–150.

The convention on wetland (Ramsar). 1971.

Available at :

<http://www.ramsar.org/pdf/guide/guide-list2009-e.pdf>

United Nations World Water Assessment Programme (UNWWAP). 2003. *Water for People, Water for Life*.

Available at :

<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr1-2003>.

제 2 장

- 고양시. 2005. 한강하구 하천생태계 연구. 고양시.
- 김준호. 1970. 육상식물의 생산력 추정을 위한 상대생장법의 이용에 대하여. 한국식물학회지 13: 47-55.
- 김준호, 문형태, 서계홍, 민병미. 1994. 농업의 공익적 기능에 관한 연구. 과학기술원. 서울.
- 김철수, 이팔홍, 오경환. 1999. 선버들의 생산성과 생산구조. 한국습지학회지 1: 61-69.
- 김태권. 2006. 우포늪 지역에서 버드나무류의 군집구조와 1 차생산성. 경상대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 김포시. 2008. 한강준설사업 사후환경영향조사 결과 보고서. 김포시.
- 박인협, 이돈구, 이경준, 문광선. 1996. 참나무류의 성장 및 물질생산에 관한 연구 (I). 경기도 광주지방의 굴참나무, 상수리나무, 떡갈나무, 신갈나무 천연림을 대상으로. 한국임학회지 85: 76-83.
- 박인협, 임도형, 유철봉. 2000. 편백 유령 인공림의 임령에 따른 물질생산 및 무기양료 분배. 한국임학회지 89: 85-92.
- 신현출, 고철환. 1995. 서해 송도 갯벌에서의 동죽(*Mactra veneriformis*: Bivalvia)의 성장과 생산. 한국해양학회지 30: 403-412.
- 안순모, 이지영, 정신재. 2006. 낙동강 하구 갯벌에 생육하는 세모고랭이(*Schoenoplectus triqueter*)의 생체량 및 탄소, 질소 함량의 계절 변화. 한국습지학회지 8: 39-49.
- 이팔홍. 2002. 하천변에 분포하는 버드나무속의 생장 특성과 군집 동태. 경상대학교 대학원 생물학과 박사학위논문.

홍재상, 박흥식. 1994. 인천연안 간석지산 주요 저서생물의 성장과 생물생산 II. 척전지역 간석지에 서식하는 맛조개 (*Solen strictus*)의 생물 생산. 한국수산학회지 27: 560-571.

국립환경과학원(NIER). 2005. 2004 하구역생태계 정밀조사. 환경부.

Argus GW. 1974. An experimental study of hybridization and pollination in *Salix* (willow). Canadian Journal of Botany 52: 1613-1619.

Beerling DJ. 1998. *Salix herbacea* L. Journal of Ecology 86: 872-895.

Berlow EL. 1999. Strong effects of weak interactions in ecological communities. Nature 398: 330-334.

Bishop SC and Chapin III FS. 1989. Establishment of *Salix alaxensis* on a gravel pad in arctic Alaska. Journal of Applied Ecology 26: 575-583.

Crisp DJ. 1984. Energy flow measurements. In : Methods for the study of marine benthos (Holme NA and McIntyre AD, eds.). Blackwell Scientific Publications, Oxford. 284-372.

Densmore R and Zasada JC. 1983. Seed disposal and dormancy in northern willows: ecological and evolutionary significance. Canadian Journal of Botany 61: 3207-3216.

Gray JS. 1981. The ecology of marine sediments. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 185.

Heymans JJ and Baird D. 1995. Energy flow in the Kromme estuarine ecosystem, St Francis Bay, South Africa. Estuarine, Coastal and Shelf Science 41: 39-59.

Kristensen E and Alongi DM. 2006. Control by fiddler crabs (*Uca vocans*) and plant roots (*Avicennia marina*) on carbon, iron, and sulfur

- biogeochemistry in mangrove sediment. *Limnology and Oceanography*. 51(4): 1557–1571
- Lee SY. 1997. Potential trophic importance of the faecal material of the mangrove sesarmine crab *Sesarma messa*. *Marine Ecology Progress Series* 159: 275-284.
- Lee SY. 1998. Ecological role of grapsid crabs in mangrove ecosystems: a review. *Marine Freshwater Research* 49: 335–343.
- May RT. 1973. *Stability and complexity in model ecosystems*. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.
- McLachlan A and Jaramillo E. 1995. Zonation on sandy beaches. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 33: 305–335.
- Niiyama K. 1987. Distribution of Salicaceous species and soil texture of habitats along the Ishikari River. *Japan Journal of Ecology* 37: 163-174.
- Smith TJ III, Boto KG, Frusher SD and Giddens RI. 1991. Keystone species and mangrove forest dynamics: the influence of burrowing by crabs on soil nutrient status and forest productivity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 33: 419-432.
- Vanninia MS, Cannicci and Ruwa K. 1995, Effect of light intensity on vertical migrations of the tree crab, *Sesarma leptosoma* Hilgendorf (Decapoda, Grapsidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 185: 181-189.
- Wilson JG and Parkes A. 1998. Network analysis of the energy flow through the Dublin Bay ecosystem. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* 98B: 179-190.

- Yoda K, Shinozaki K, Ogawa J, Hozumi K. & Kira T. 1965. Estimation of the total amount of respiration in woody organs of trees and forest communities. *Journal of Biology Osaka City University* 16: 15–26.
- Yoo JW. 1998. The spatial distribution and long-term variation of macrofaunal communities on macrotidal flats in the west central coast of Korea. Ph. D. thesis, Inha Univesity 352.

제 3 장

한동욱, 유재원, 유영한, 이은주, 박상규. 2010. 한강하구 장항습지의 선버들 (*Salix subfragilis*)의 지상부 1차생산성과 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)의 2차생산성. 한국하천호수학회지 (Limnol. Korean J.) 43(2): 298-306.

Créach V, Schricke MT, Bertru G, Marikotti A. 1997. Stable isotopes and gut analyses to determine feeding relationships in saltmarsh macroconsumers. Estuarine, Coastal and Shelf Science 44: 599-611.

Elliot M, McLusky DS. 2002. The need for definitions in understanding estuaries. Estuarine, Coastal, and Shelf Science 55: 815-817.

Haines EB, Montague CL. 1979. Food sources of estuarine invertebrates analyzed using $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios. Ecology 60: 48-56.

Hessen DO, Leu E. 2006. Trophic transfer and trophic modification of fatty acids in high Arctic lakes. Freshwater Biology 51:1987-1998.

Inga N, Matthias W, Karen D. 2006. Litter processing and population food intake of the mangrove crab *Ucides cordatus* in a high intertidal forest in northern Brazil. Estuarine, Coastal and Shelf Science 67: 239-250.

Guest MA, Connolly RM. 2004. Fine-scale movement and assimilation of carbon in saltmarsh and mangrove habitat by resident animals. Aquatic Ecology 38: 599-609.

Kattner G, Fricke HSG. 1986. Simple gas-liquid chromatographic method for the simultaneous determination of fatty acids and alcohols in wax esters of marine organisms. Journal of Chromatography 361: 263-268.

Kiyashko SI, Imbs AB, Narita T, Svetashev VI, Wada E. 2004. Fatty acid composition of aquatic insect larvae *Stictochironomus pictulus*

- (Diptera: Chironomidae): evidence of feeding upon methanotrophic bacteria. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B* 139: 705-711.
- Lee SY. 1997. Potential trophic importance of the faecal material of the mangrove sesarmine crab *Sesarma messa*. *Marine Ecology Progress Series* 159: 275-284.
- Mann KH. 1972. Macrophyte production and detritus food chains in coastal waters. In: Melchioni-Santalini U, Hopton J. Detritus and its role in aquatic ecosystems 29, Supplement 13-16, Pallanzo, *Memorie Dell'Istituto Italiano di Idrobiologia (Proceedings of and IBP-UNESCO Symposium)* 325-352.
- Meziane T, Bodineau L, Retiere C, Thoumelin G. 1997. The use of lipid markers to define sources of organic matter in sediment and food web of the intertidal salt-marsh-flat ecosystem of Mont-Saint-Michel Bay, France. *Journal of Sea Research* 38: 47-58.
- Meziane T, Sanabe MC, Tsuchiya M. 2002. Role of fiddler crabs of a subtropical intertidal flat on the fate of sedimentary fatty acids. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 270: 191-201.
- Odum WE, Zieman JC, Heald EJ. 1973. The importance of vascular plant detritus to estuaries. In: Chabreck RH. *Proceedings of the Coastal Marsh and Estuary Management Symposium*. Louisiana State University, Division of Continuing Education, Baton Rouge, Louisiana, USA 91-135.
- Parrish CC, Abrajano TA, Budge SM, Helleur RJ, Hudson ED, Pulchan K, Ramos C. 2000. Lipid and phenolic biomarkers in marine ecosystems: analysis and applications. In: Wanersky P. *The Handbook of Environmental Chemistry Vol. 5 Part D Marine Chemistry*, Springer-

Verlag, Berlin 193-223.

Poerschmann J, Spijkerman E, Langer U. 2004. Fatty acid patterns in *Chlamydomonas* sp. as a marker for nutritional regimes and temperature under extremely acidic conditions. *Microbial ecology* 48(1):78-89.

Pond DW, Leakey RJG, Fallick AE. 2006. Monitoring microbial predator-prey interactions: an experimental study using fatty acid biomarker and compound-specific stable isotope techniques. *Journal of Plankton Research* 28: 419-427.

Ruess L, Tiunov A, Haubert D, Richnow HH, Häggblom MM, Scheu S. 2005. Carbon stable isotope fractionation and trophic transfer of fatty acids in fungal based soil food chains. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 945-953.

Shin PKS, Chan AKY, Lam MHW. 2004. Fatty acids as tracer of trophic relationships in a subtropical mangrove wetland. *Korean Journal of Ecology* 27: 61-65.

Skov MW, Hartnoll RG. 2002. Paradoxical selective feeding on a low-nutrient diet: why do mangrove crabs eat leaves. *Oecologia* 131: 1-7.

Thimdee W, Deen G, Sangrungruang C, Matsunaga K. 2004. Analysis of primary food sources and trophic relationships of aquatic animals in a mangrove-fringed estuary, Khung Krabaen Bay (Thailand) using dual stable isotope techniques. *Wetlands Ecology and Management* 12: 135-144.

Van der Zanden MJ, Rasmussen JB. 1996. A trophic position model of pelagic food webs: impact on contaminant bioaccumulation in lake trout. *Ecological Monographs* 66: 451-477.

제 4 장

- 한동욱, 유재원, 유영한, 이은주, 박상규. 2010. 한강하구 장항습지의 선버들 (*Salix subfragilis*)의 지상부 1차생산성과 말뚝게 (*Sesarma dehaani*)의 2차생산성. 한국하천호수학회지 (Limnol. Korean J.) 43(2): 298-306.
- 박경수. 2004, 한강하구역의 염분 분포 및 생태환경특성, 한국습지학회지 6(1): 149-166.
- Andrea CA, François T, Luce S, Mark D. 2006. Identification of trophic interactions within an estuarine food web (northern New Zealand) using fatty acid biomarkers and stable isotopes
- Bodin N, François LL, Christian H, Xavier C, Daniel L, Anne-Marie Le Guellec. 2007. Variability of stable isotope signatures ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in two spider crab populations (*Maja brachydactyla*) in Western Europe. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 343(2): 149–157.
- Boecklen WJ, Yarnes CT, Cook BA, James AC. 2011. On the use of stable isotopes in trophic ecology. Annual Review of Ecology and Systematics 42: 411-440.
- Brett MT, Muller-Navarra DC, Ballantyne AP, Ravet JL, Goldman CR. 2006. Daphnia fatty acid composition reflects that of their diet. Limnology and Oceanography 51: 2428-2437.
- Chamberlain PM, Bull ID, Black HIJ, Ineson P, Evershed RP. 2006. Collembolan trophic preferences determined using fatty acid distributions and compound-specific stable ^{13}C isotope values. Soil Biol Biochem 38: 1275-1281.

- Chena J, Ferrisa H, Scowb KM, Grahama KJ. 2001. Fatty acid composition and dynamics of selected fungal-feeding nematodes and fungi. *Comparitive Biochemistry and Physiology Part B* 130: 135-144.
- Dalsgaard J, St John M, Kattner G, Muller-Navarra D, Hagen W. 2003. Fatty acid trophic markers in the pelagic marine environment. *Adv Mar Biol* 46: 225-340.
- Doi H, Masatoshi M, Terumasa T, Nobuya S, Chitoshi M, Yonosuke M, Eisuke K. 2005. Spatial shifts in food sources for macrozoobenthos in an estuarine ecosystem: carbon and nitrogen stable isotope analyses. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64(2-3): 316-322.
- Eunjung Choy, Soonmo An, Changkeun Kang. 2008. Pathways of organic matter through food webs of diverse habitats in the regulated Nakdong River estuary (Korea). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 78(1): 215-226.
- Fry B, Chumchal M. 2012. Mercury bioaccumulation in estuarine food webs. *Ecological Applications* 22: 606-623.
- Donguk Han, Dongwoo Yang, Eunjoo Lee, Sangkyu Park. 2012. Food web structure in a *Salix subfragilis* dominated wetland in Hangang estuary using stable isotopes and fatty acid biomarkers. *Animal Cells and Systems* 16: 162-171.
- Changkeun Kang, Yongwoo Lee, Eunjung Choy, Jaeki Shin, Insoo Seo, Jaesang Hong. 2006. Microphytobenthos seasonality determines growth and reproduction in intertidal bivalves. *Marine Ecology Progress Serues* 315: 113-127.
- Mazumder D, Saintilan N. 2010. Mangrove leaves are not an important source of dietary ^{13}C and ^{15}N for crabs in temperate Australian

mangroves. *Wetlands* 30: 375-380.

Meziane T, d'Agata F, Lee SY. 2006. Fate of mangrove organic matter along a subtropical estuary: small-scale exportation and contribution to the food of crab communities. *Marine Ecology Progress Series* 312: 15–27.

Nerot C, Meziane T, Provost-Govrich A, Rybarczyk H, Lee SY. 2009. Role of grapsid crabs, *Parasesarma erythrodictyla*, in entry of mangrove leaves into an estuarine food web: a mesocosm study. *Marine Biology* 156: 2343-2352.

Rodelli MR, Gearing JN, Gearing PJ, Marshall N, Sasekumar A. 1984. Stable isotope ratio as a tracer of mangrove carbon in Malaysian ecosystems. *Oecologia (Berlin)* 61: 326-333

Suprayudi MA, Takeuchi T, Kamasaki K. 2004. Essential fatty acids for larval mud crab *Scylla serrata*: implications of lack of the ability to bioconvert C18 unsaturated fatty acids to highly unsaturated fatty acids. *Aquaculture* 231: 403-416.

Vander Zanden MJ, Chandra S, Park SK, Vadeboncoeur Y, Goldman CR. 2006. The relative efficiencies of benthic and pelagic trophic pathways in a subalpine lake. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63: 2608-2620.

제 5 장

John WD Jr, William HC, Francisco LL, Richard HD, Alejandro MN. 1987. Aquatic Botany 27(3): 267–284.

Flores-Verdugo F, González-Farías F, Ramírez-Flores O, Amezcua-Linares F, Yáñez-Arancibia A, Alvarez-Rubio MJWD. 1990. Mangrove ecology, aquatic primary productivity, and fish community dynamics in the Teacapán-Agua Brava Lagoon-Estuarine system (Mexican Pacific). Estuaries 13(2): 219-230.

Francis EP, Chan HT. 1986. Tree growth, dynamics, and productivity in a mature mangrove forest in Malaysia. Forest Ecology and Management 17(2–3): 211–230.

Volker K & Matthias W. 2002. Energy budget and ecological role of mangrove epibenthos in the Caeté estuary, Marine ecology progress series 228: 119–130.

Macintosh DJ. 1988. The ecology and physiology of decapods of mangrove swamps. In: Fincham A, Rainbow PS (eds) Aspects of decapod crustacean biology. Symp Zool Soc London, No. 59, p 315–341.

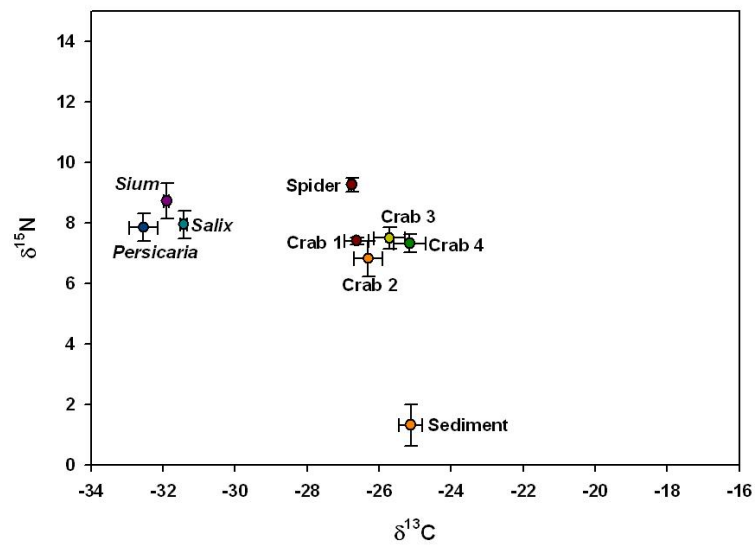
부 록

Appendix

부록 1. 안정동위원소 장소별 월별 분석 자료

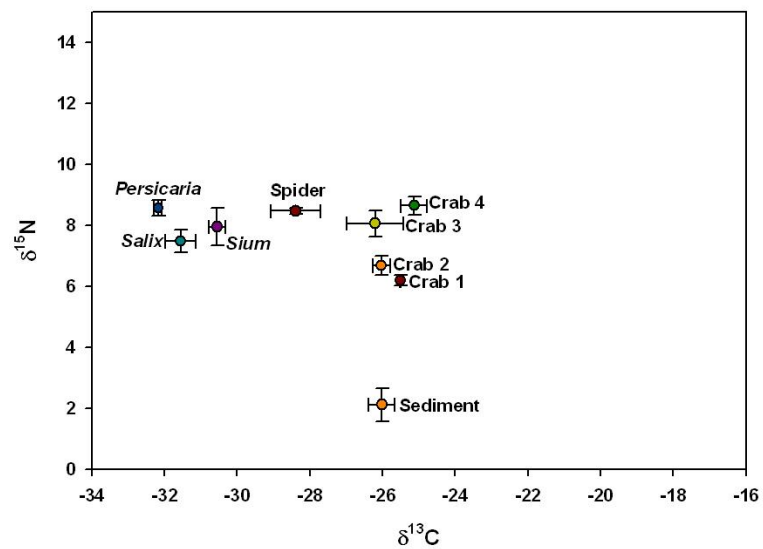
1) 2006 년 8 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, August, 2006



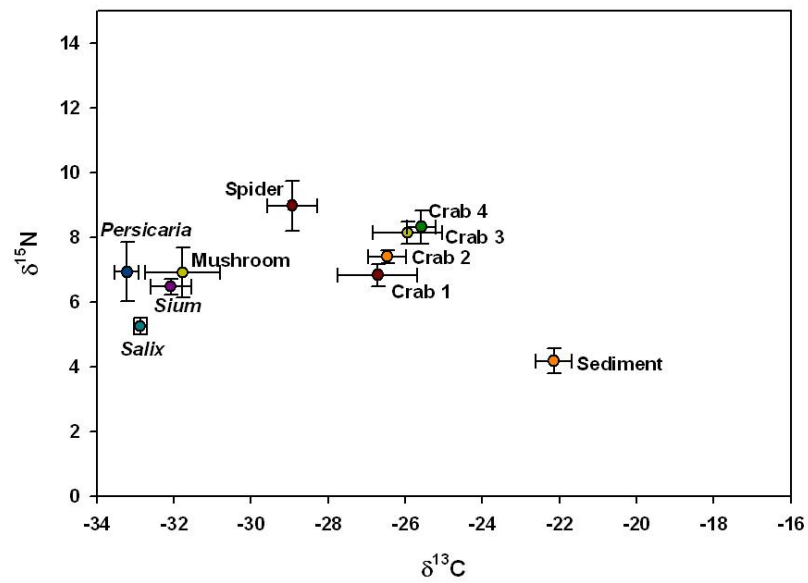
2) 2006 년 9 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, September, 2006



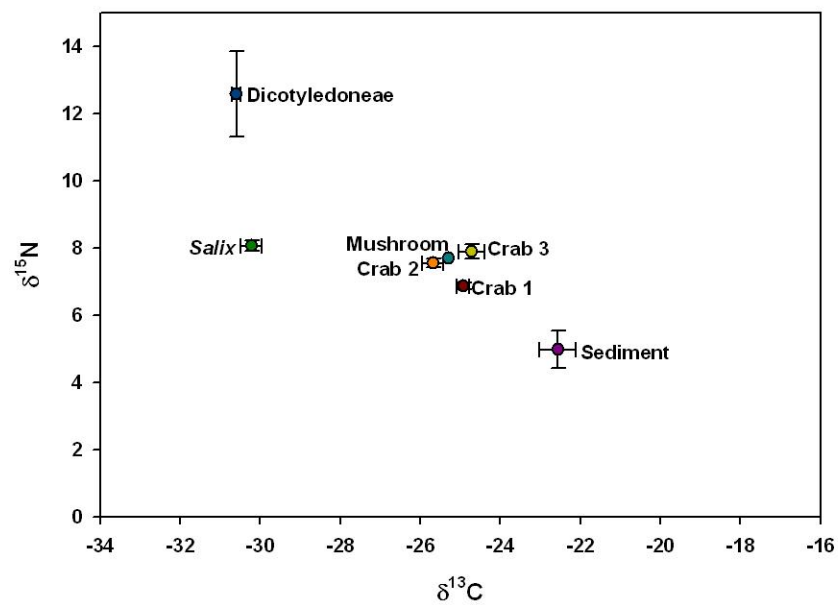
3) 2006 년 10 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, October, 2006



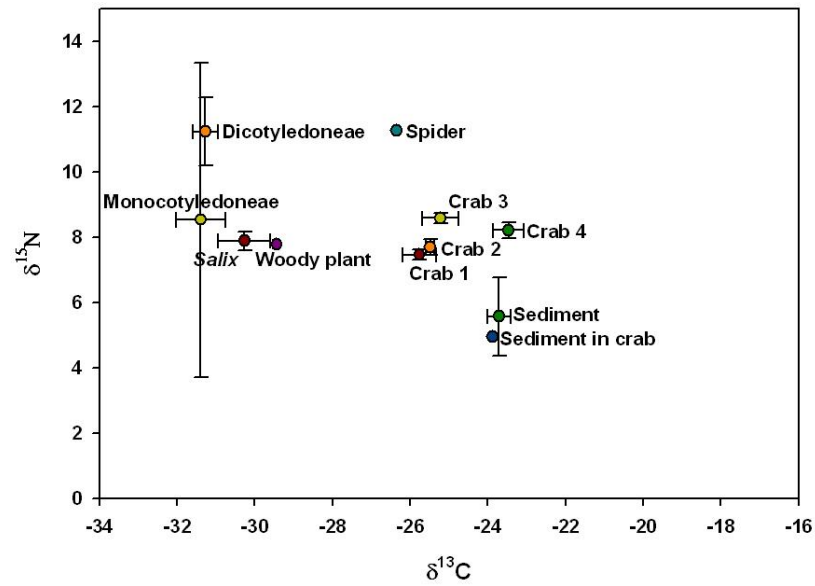
4) 2007 년 3 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, March, 2007



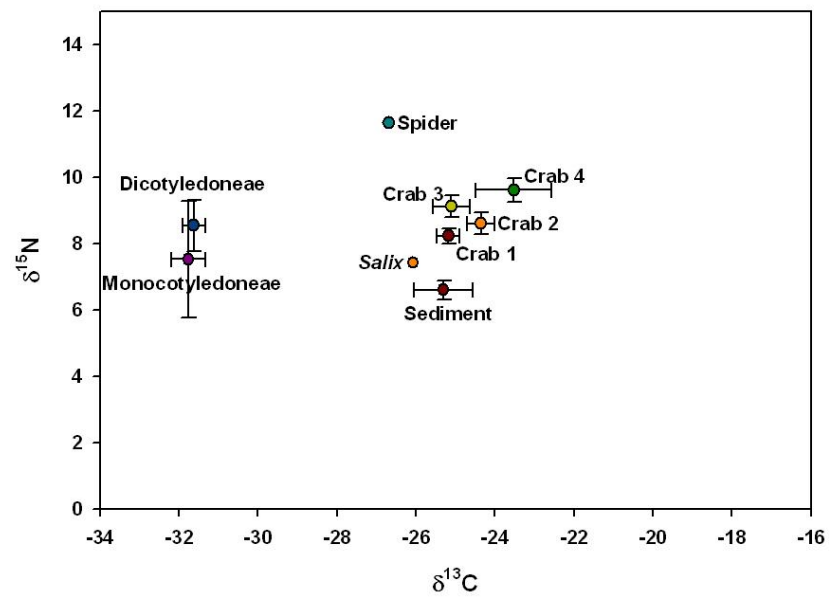
5) 2007 년 4 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, April, 2007



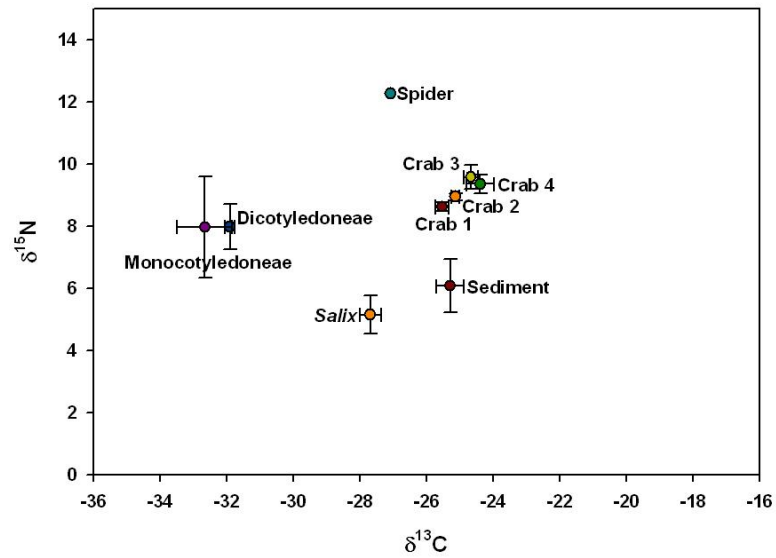
6) 2007 년 5 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, May, 2007



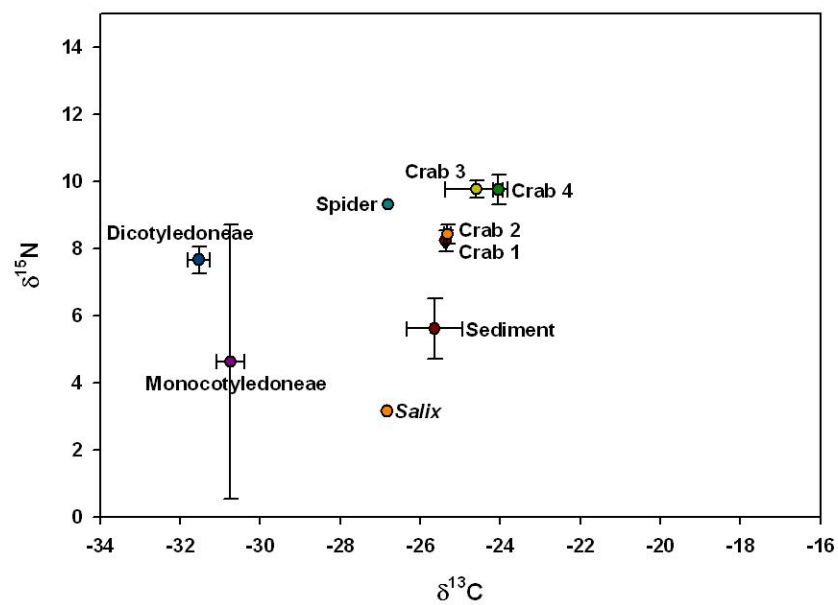
7) 2007 년 6 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, June, 2007



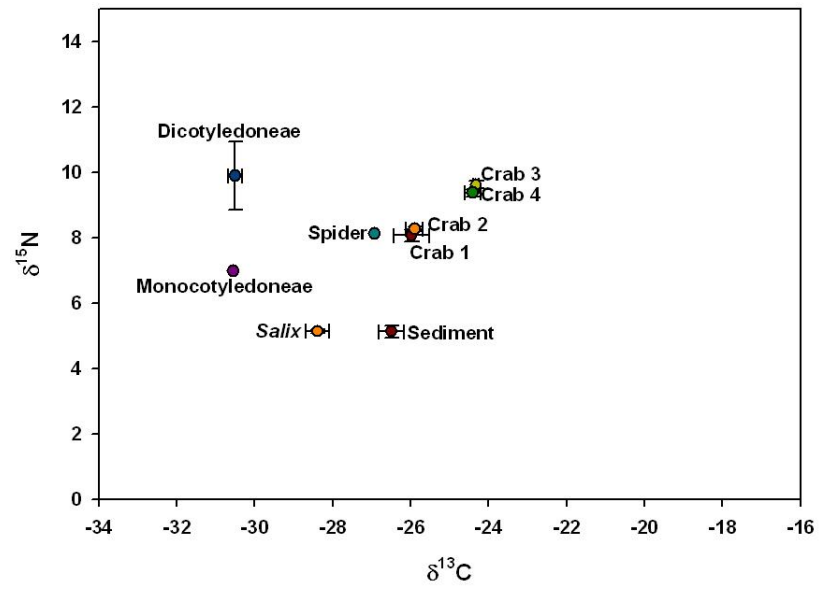
8) 2007 년 7 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, July, 2007



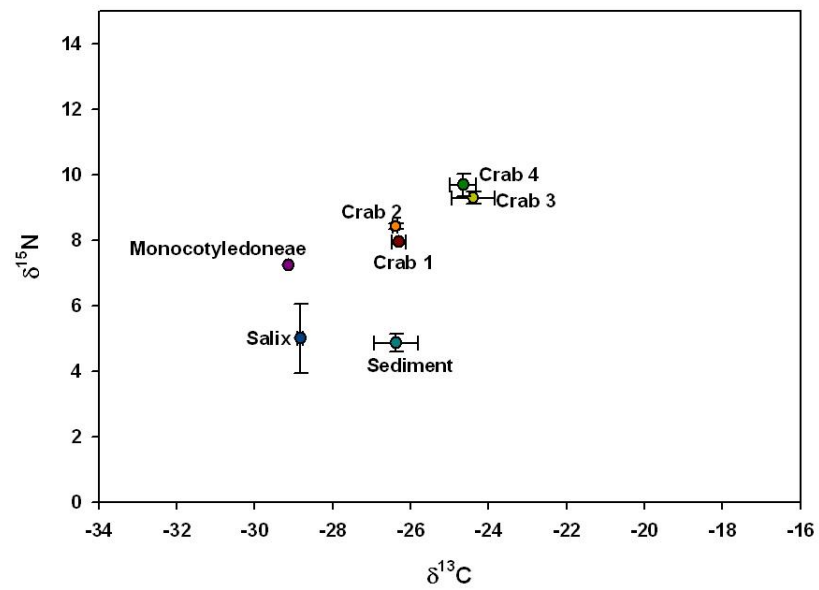
9) 2007 년 8 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, August, 2007



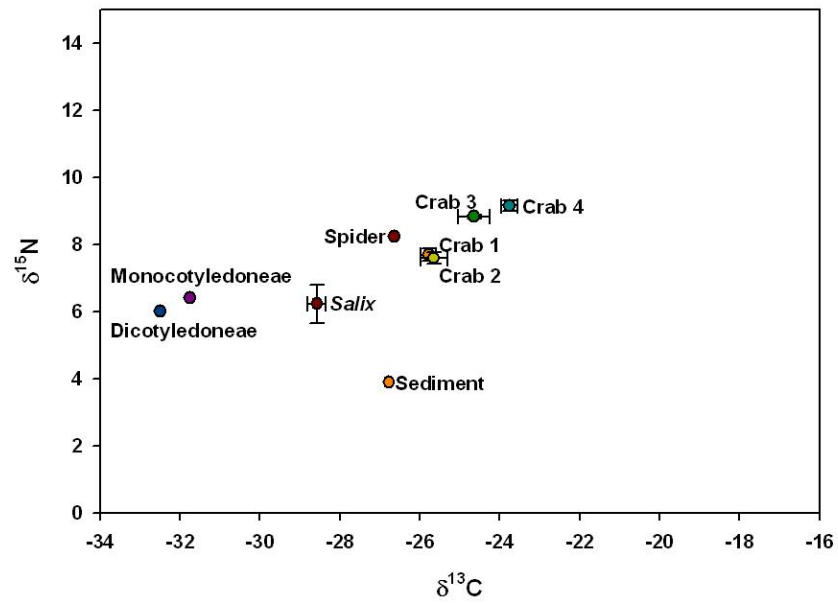
10) 2007 년 9 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, September, 2007



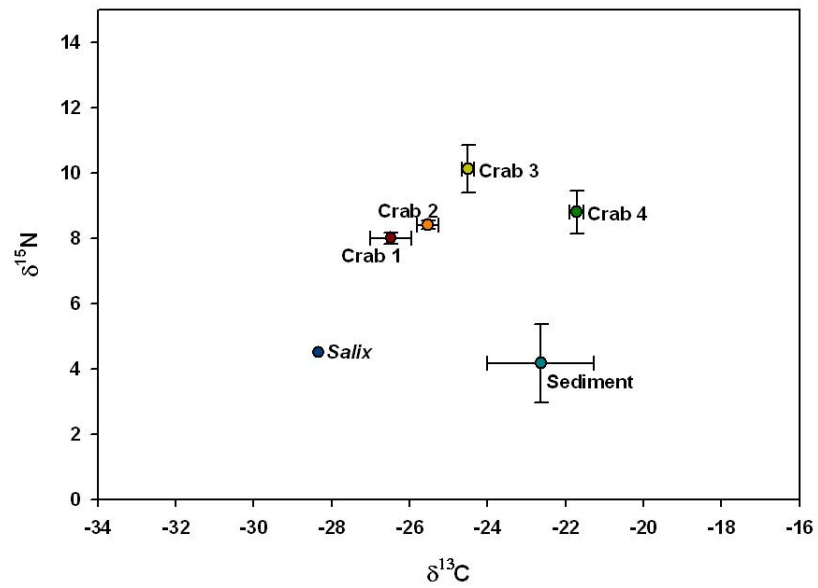
11) 2007 년 10 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, October, 2007



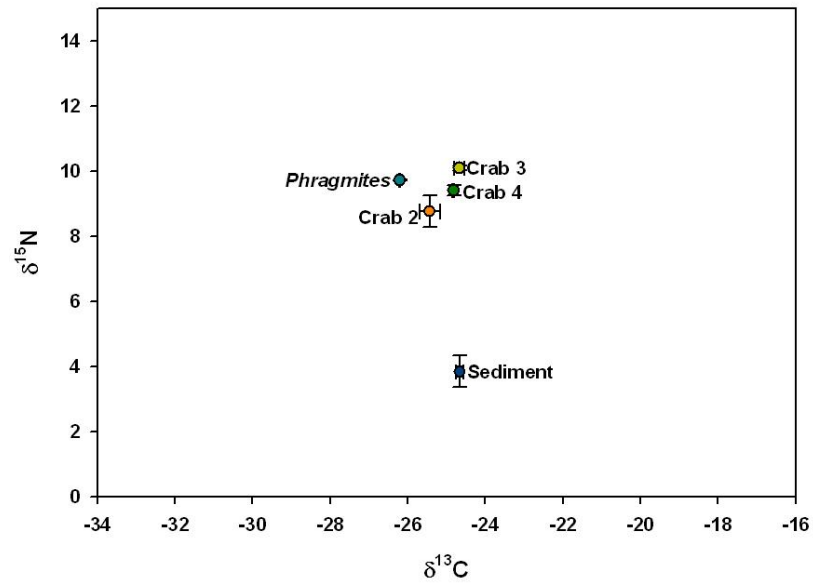
12) 2007 년 11 월 장항습지 안정동위원소

Janghang Wetland, November, 2007



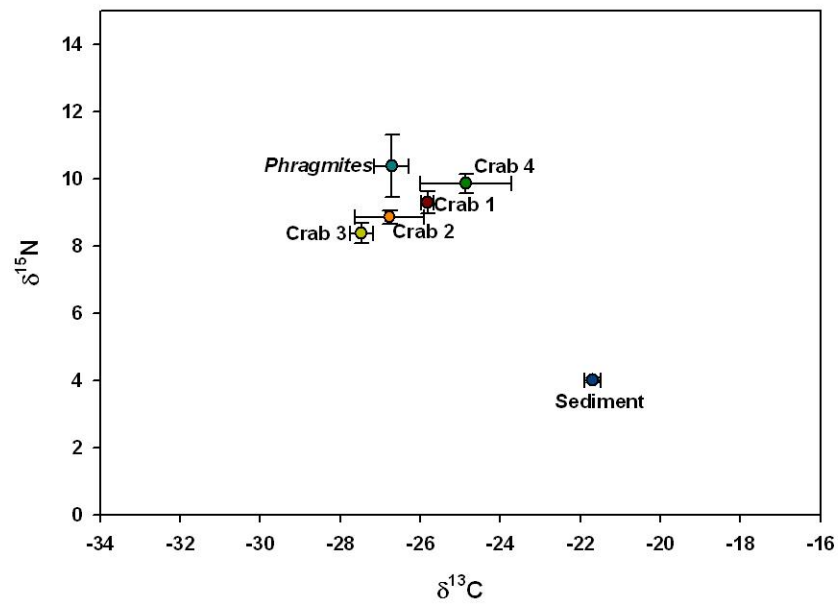
13) 2006 년 8 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, August, 2006



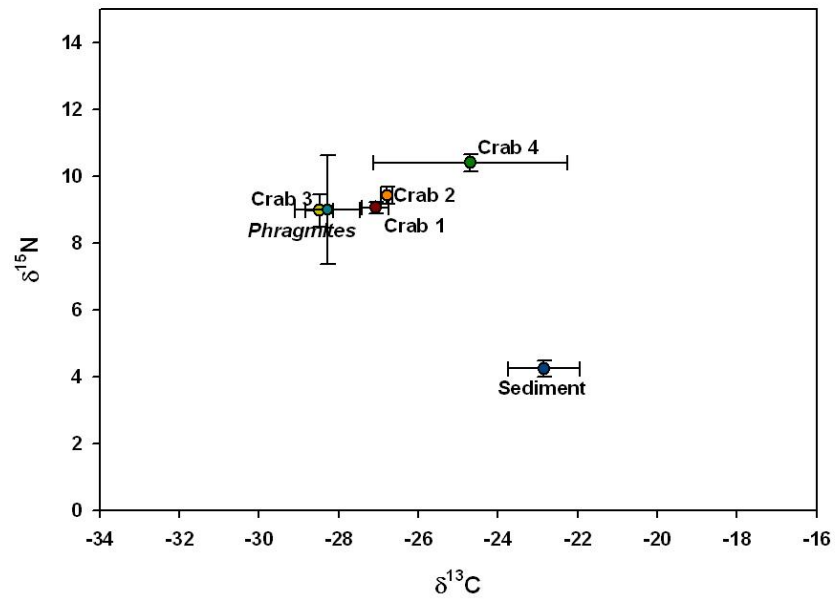
14) 2006 년 9 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, September, 2006



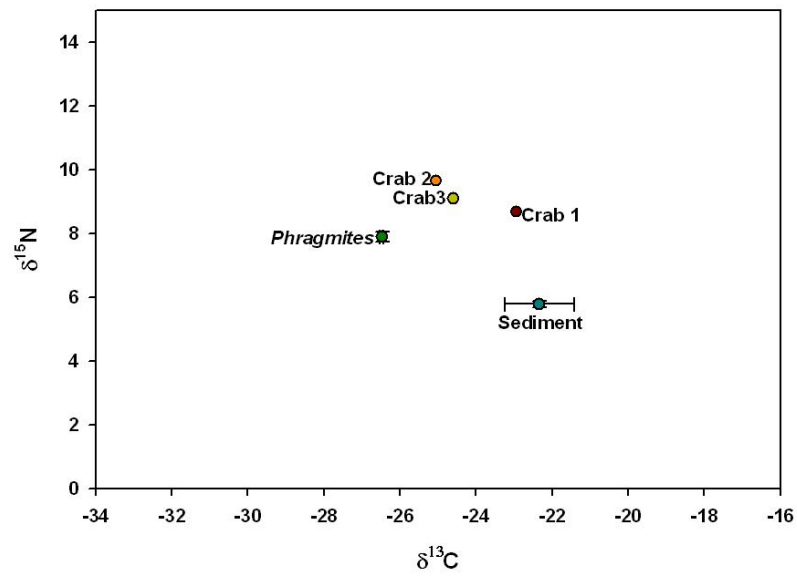
15) 2006 년 10 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, October, 2006



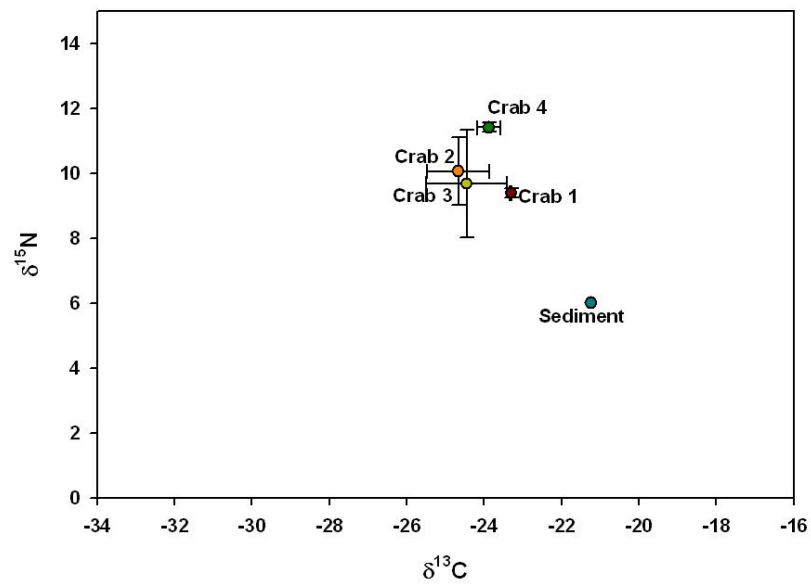
16) 2007 년 3 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, March, 2007



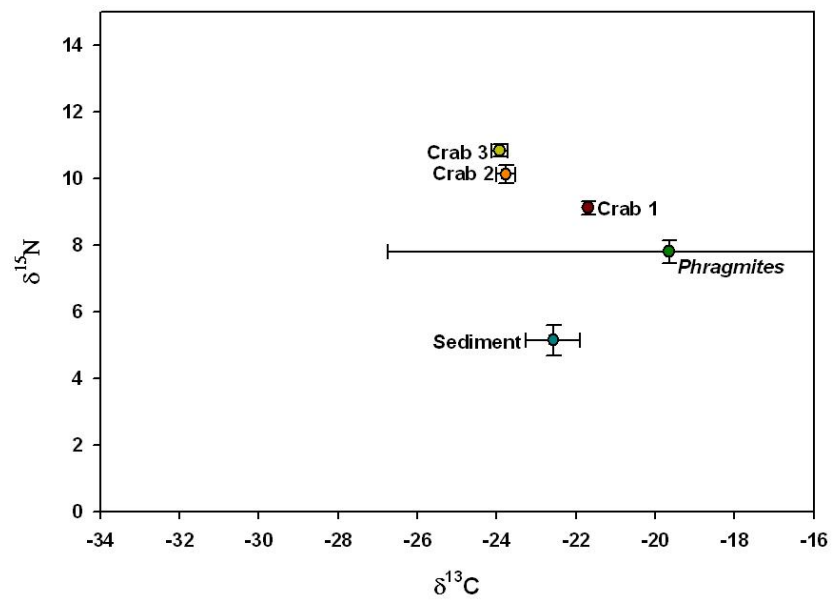
17) 2007 년 4 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, April, 2007



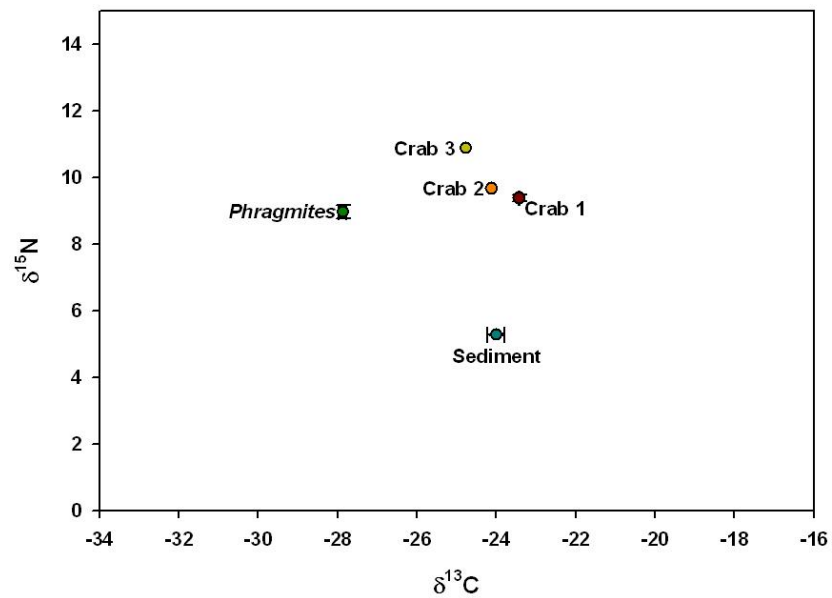
18) 2007 년 5 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, May, 2007



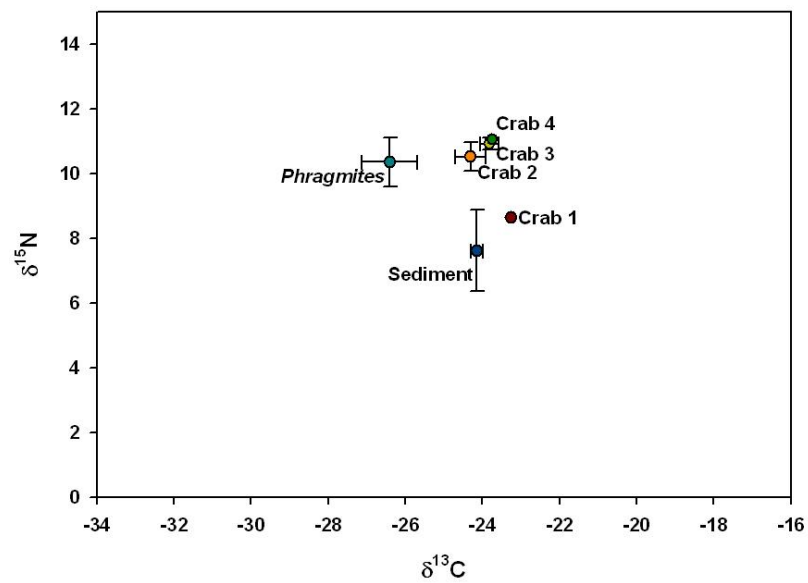
19) 2007 년 6 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, June, 2007



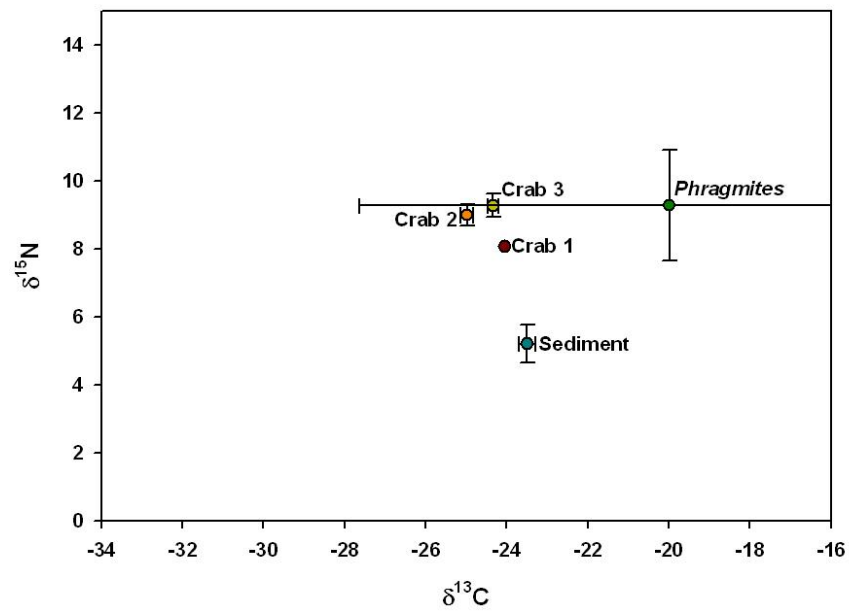
20) 2007 년 7 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, July, 2007



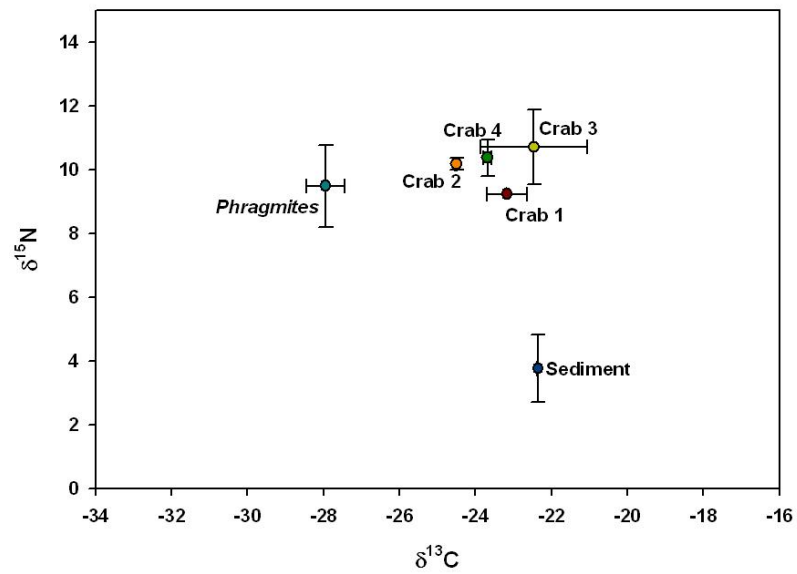
21) 2007 년 8 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, August, 2007



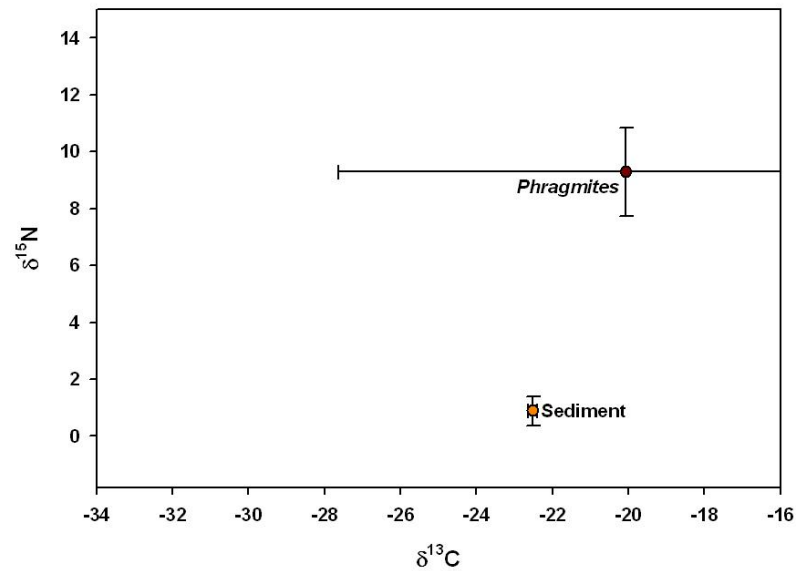
22) 2007 년 9 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, September, 2007



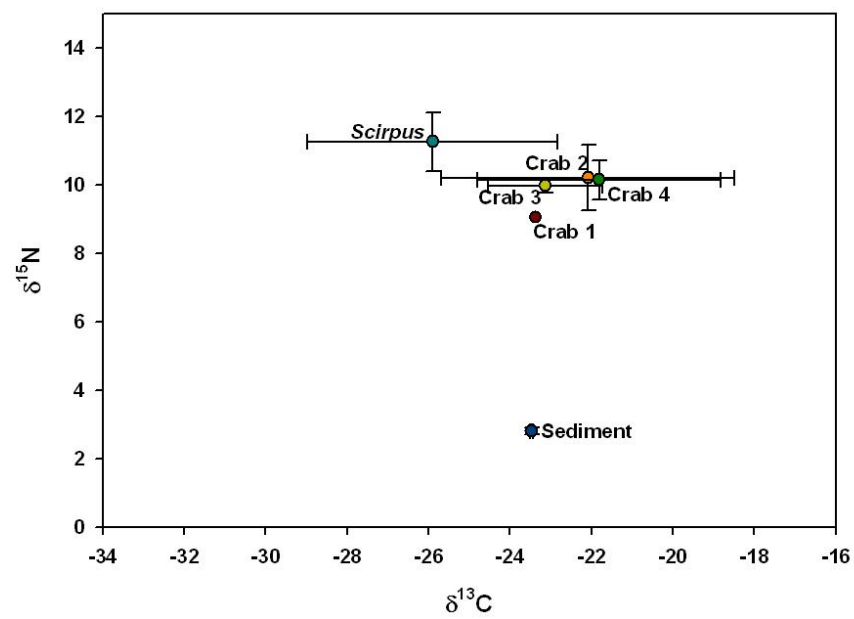
23) 2007 년 10 월 공릉천하구습지 안정동위원소

Gokreungcheon, October, 2007



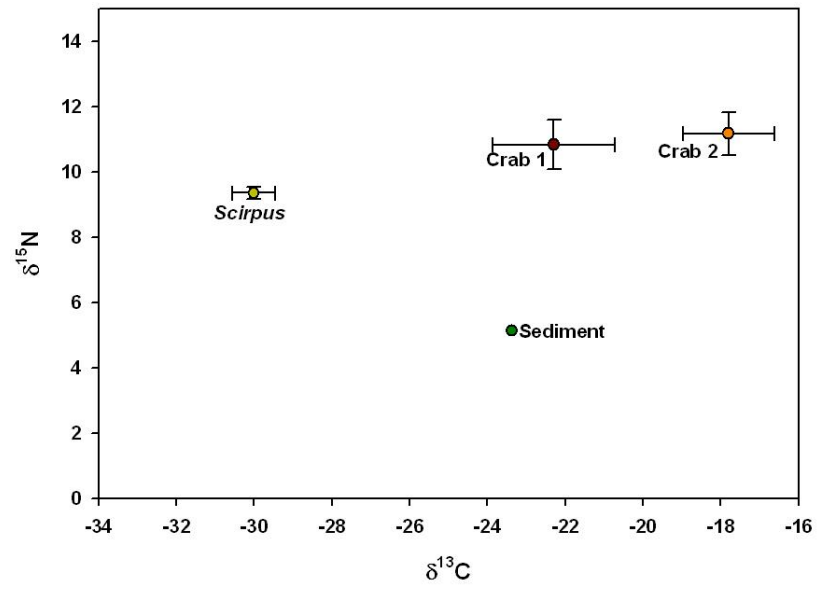
24) 2006 년 8 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, August, 2006



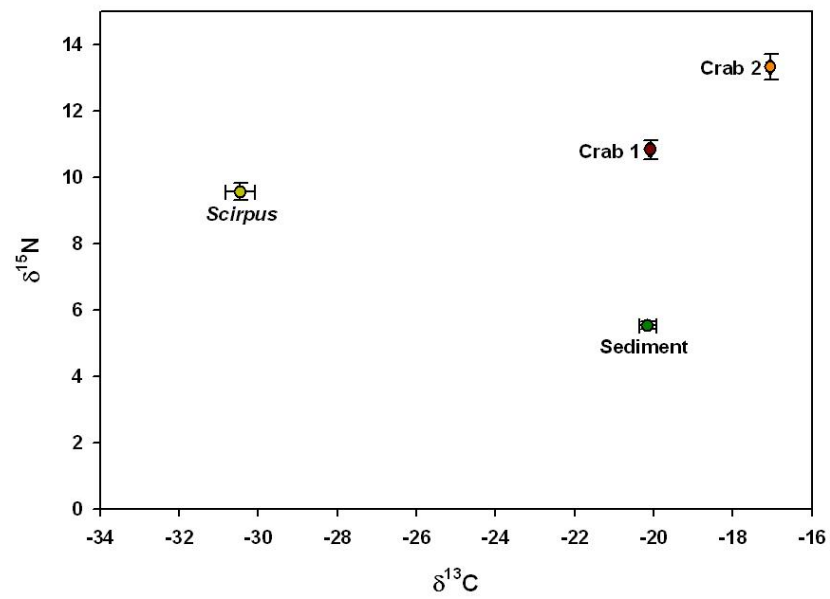
25) 2006 년 9 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, September, 2006



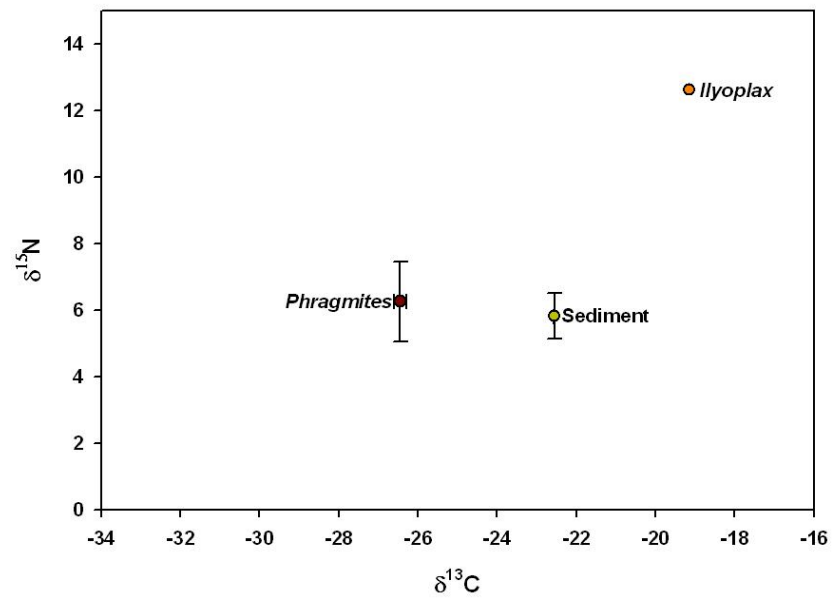
26) 2006 년 10 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, October, 2006



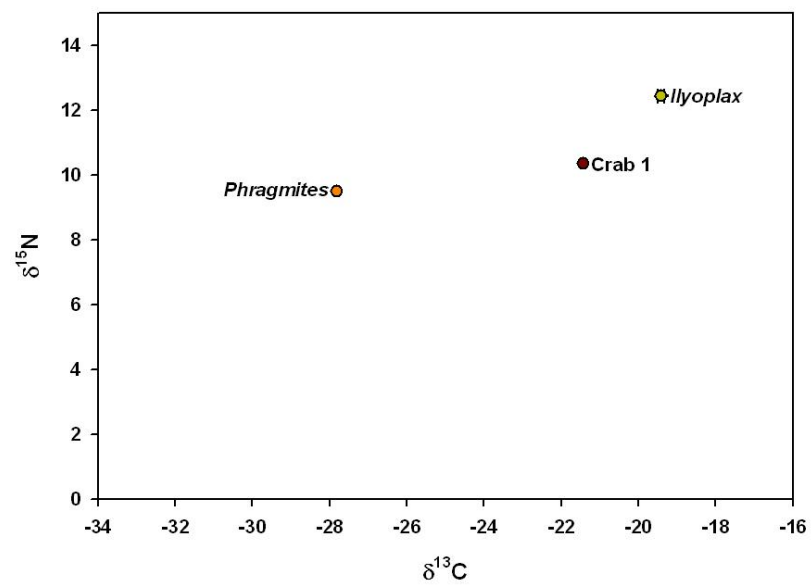
27) 2007 년 3 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, March, 2007



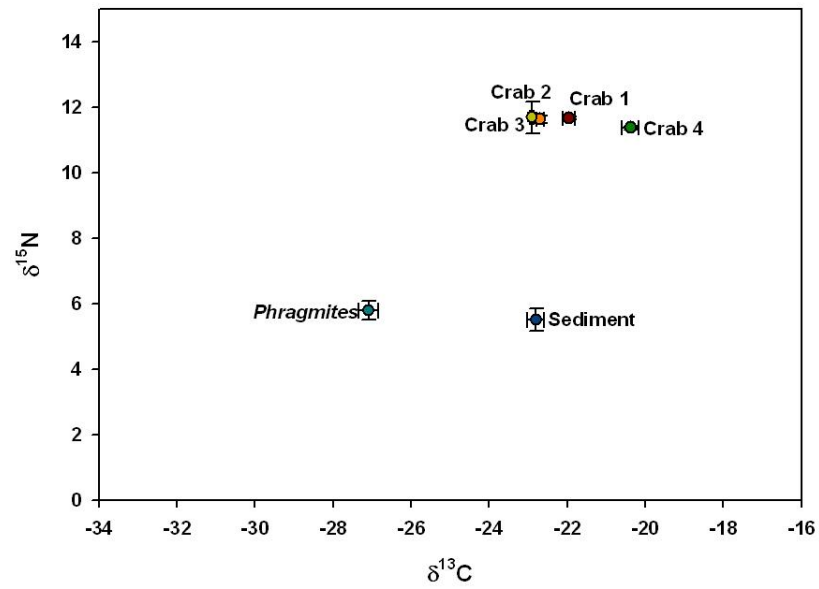
28) 2007 년 4 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, April, 2007



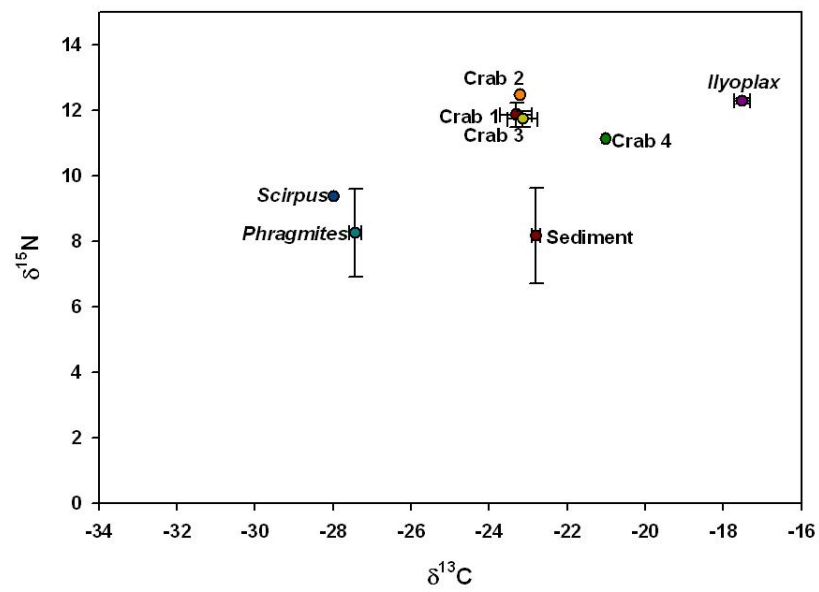
29) 2007 년 5 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, May, 2007



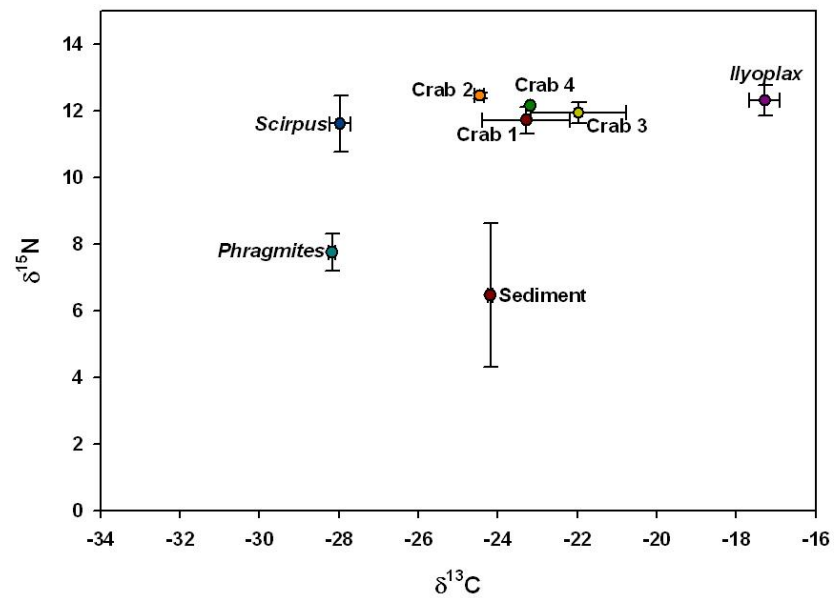
30) 2007 년 6 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, June, 2007



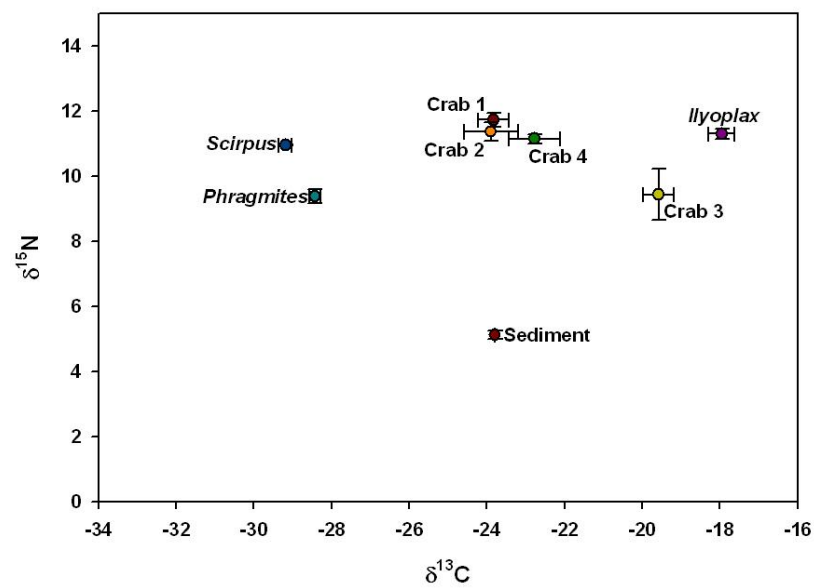
31) 2007 년 7 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, July, 2007



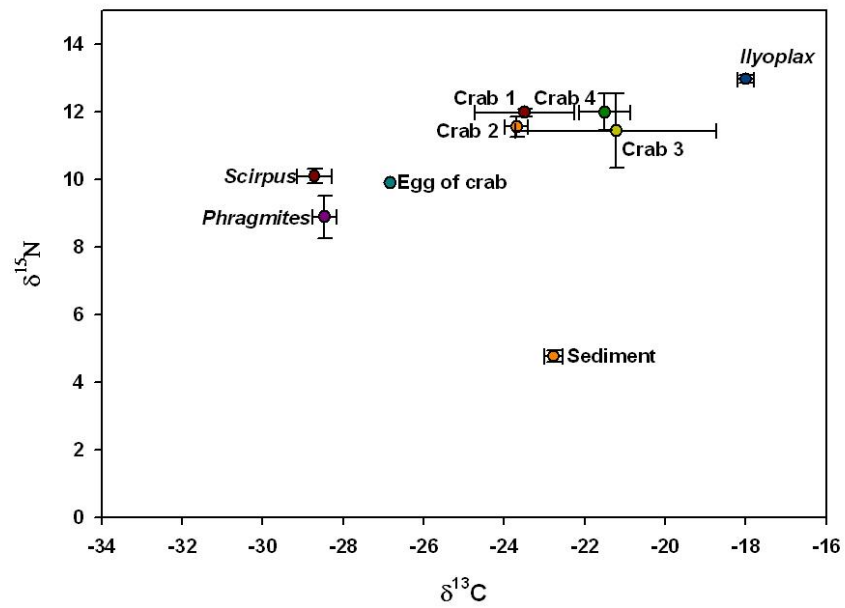
32) 2007 년 8 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, August, 2007



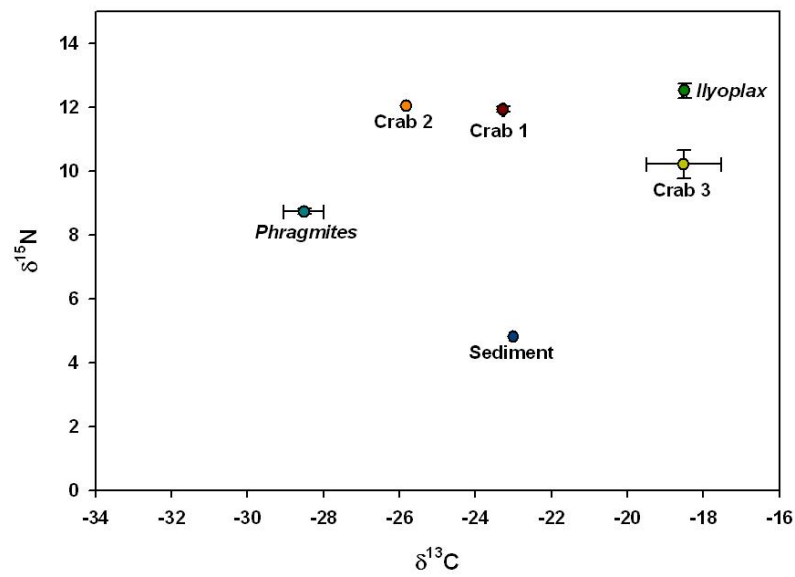
33) 2007 년 9 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, September, 2007



34) 2007 년 10 월 성동습지 안정동위원소

Sungdong Wetland, October, 2007



부록 2. 지방산 분석표

1) 장항습지 말뚝계 Age 1 지방산 조성비

단위 %

시기 지방산	2006 년 9 월		2006 년 10 월		2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년
	평균	표준 오차	평균	표준 오차	3 월	4 월	5 월	6 월	7 월	8 월	9 월	10 월	11 월
10:0	0.13	0.06	1.23	0.69	0.04	0.02	0.04	0.03	0.04	0.04	0.06	0.00	0.03
11:0	0.17	0.04	0.04	0.02	0.07	0.08	0.10	0.02	0.06	0.05	0.19	0.30	0.12
12:0	0.50	0.07	0.32	0.12	0.07	0.09	0.13	0.05	0.11	0.10	0.24	0.08	0.21
13:0	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.04	0.00	0.00	0.07
14:0	3.63	0.72	2.72	0.59	1.44	3.79	1.24	1.96	0.65	1.36	0.83	0.78	1.31
14:1ω5	0.18	0.06	0.36	0.12	0.10	0.26	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.15
15:0	1.63	0.18	1.50	0.25	0.68	0.75	0.69	1.28	1.23	1.65	1.17	1.31	1.52
15:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16:0	28.69	1.65	24.72	0.90	16.68	16.36	17.36	24.66	20.29	25.34	16.70	16.94	19.41
16:1ω7	18.36	2.50	16.37	2.45	8.11	23.17	9.57	18.08	3.47	5.99	3.61	3.26	6.90
17:0	0.84	0.17	0.72	0.06	0.53	0.41	0.78	0.88	1.55	1.39	1.50	1.61	0.95
17:1	0.32	0.14	0.15	0.11	0.12	0.14	0.26	0.23	0.11	0.19	0.12	0.15	0.15
18:0	3.98	0.42	3.12	0.74	3.97	3.83	7.46	3.98	8.81	7.32	8.99	9.93	4.64
18:1ω9	15.48	1.17	19.78	1.67	34.00	22.36	16.76	16.98	26.32	18.47	11.99	15.29	18.80
18:1ω7	2.30	0.10	2.34	0.15	2.05	1.84	3.08	3.04	2.73	3.37	3.96	3.69	3.01

18:2ω6	10.08	1.23	14.21	1.20	14.61	8.90	17.51	11.90	15.98	15.37	11.23	12.54	21.88
18:3ω6	0.28	0.09	0.88	0.72	0.08	0.10	0.50	0.14	0.06	0.16	0.12	0.07	0.11
18:3ω3	6.96	0.67	6.14	1.05	6.42	3.45	5.74	6.17	6.13	5.34	6.63	5.46	8.76
18:4ω3	0.13	0.04	0.13	0.04	0.14	0.15	0.12	0.16	0.09	0.14	0.18	0.17	0.14
20:0	0.24	0.02	0.22	0.05	0.32	0.40	0.76	0.31	0.63	0.50	0.99	0.85	0.38
20:1ω9	0.15	0.02	0.21	0.02	0.38	0.36	0.44	0.23	0.34	0.27	0.58	0.41	0.31
20:2	0.35	0.04	0.29	0.08	0.76	0.55	1.01	0.45	0.77	0.51	1.11	1.28	0.80
20:3ω6	0.08	0.03	0.13	0.08	0.16	0.23	0.13	0.11	0.12	0.18	0.44	0.35	0.27
20:3ω3	1.78	0.22	1.13	0.22	2.60	3.57	4.33	1.74	3.25	2.92	8.28	8.30	3.50
20:4ω6	0.16	0.04	0.18	0.05	0.40	0.19	0.45	1.74	0.29	0.30	0.89	0.85	0.46
20:5ω3	2.52	0.36	2.29	0.86	4.52	6.77	8.64	4.39	5.12	6.43	14.22	11.44	4.26
22:0	0.20	0.03	0.15	0.02	0.13	0.21	0.39	0.20	0.25	0.28	0.61	0.41	0.18
22:1ω11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.08
22:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.03	0.00	0.12	0.61	0.00	0.00
22:2	0.17	0.07	0.09	0.06	0.55	0.59	0.77	0.33	0.36	0.63	1.69	1.85	0.59
23:0	0.14	0.03	0.15	0.04	0.15	0.25	0.24	0.19	0.15	0.42	0.34	0.58	0.12
22:5ω3	0.02	0.01	0.03	0.01	0.09	0.12	0.00	0.06	0.10	0.08	0.24	0.22	0.13
24:0	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.06	0.05	0.11	0.00	0.00	0.04
22:6ω3	0.43	0.06	0.35	0.13	0.83	0.97	1.50	0.53	0.91	0.89	2.48	1.77	0.71
24:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

2) 장항습지 말뚝계 Age 2 지방산 조성비

단위 (%)

시기 지방산	2006 년 9 월		2006 년 10 월		2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년
	평균	표준오차	평균	표준오차	3 월	4 월	5 월	6 월	7 월	8 월	9 월	10 월	11 월
10:0	0.65	0.33	0.31	0.17	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.10	0.02	0.06	0.02
11:0	0.18	0.04	0.57	0.29	0.02	0.07	0.08	0.07	0.30	0.14	0.16	0.25	0.11
12:0	0.39	0.15	0.66	0.15	0.07	0.09	0.06	0.11	0.29	0.19	0.10	0.20	0.27
13:0	0.10	0.04	0.09	0.03	0.03	0.03	0.09	0.04	0.00	0.05	0.07	0.09	0.08
14:0	4.01	1.29	2.98	0.46	1.52	2.70	1.10	1.19	1.10	1.14	1.08	0.99	1.51
14:1ω5	0.33	0.12	0.31	0.09	0.21	0.18	0.11	0.05	0.00	0.00	0.04	0.04	0.12
15:0	2.01	0.42	2.98	0.72	1.35	1.11	0.82	1.33	0.83	1.84	2.79	1.25	2.80
15:1	0.00	0.00	0.30	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16:0	27.77	2.73	24.92	2.14	22.30	21.99	18.56	20.88	16.55	20.32	18.13	15.88	20.59
16:1ω7	16.36	2.77	13.33	1.64	17.40	18.90	12.35	11.68	4.33	3.60	6.33	4.91	13.98
17:0	0.88	0.13	0.97	0.21	0.48	0.64	0.68	0.80	0.94	1.99	2.30	1.29	1.45
17:1	0.47	0.18	0.64	0.25	0.23	0.21	0.11	0.15	0.10	0.06	0.14	0.13	0.11
18:0	3.68	0.44	3.04	0.83	1.77	3.82	5.71	4.34	9.47	9.66	7.35	11.43	4.27
18:1ω9	11.54	1.55	15.99	0.59	26.48	21.07	23.83	21.79	16.03	19.42	16.51	15.87	22.27
18:1ω7	2.20	0.07	1.50	0.25	2.72	3.58	4.26	2.93	3.57	3.49	3.65	3.10	3.36

18:206	13.56	4.96	13.69	0.55	14.91	11.74	13.18	19.67	15.31	12.28	13.19	14.21	12.33
18:306	0.08	0.05	0.35	0.29	0.05	0.08	0.11	0.20	0.10	0.06	0.26	0.09	0.19
18:303	8.85	1.09	11.74	1.28	7.33	5.90	5.10	7.32	6.75	7.17	13.73	6.32	7.86
18:403	0.11	0.01	0.08	0.02	0.08	0.13	0.11	0.12	0.31	0.10	0.15	0.34	0.11
20:0	0.29	0.04	0.22	0.06	0.13	0.35	0.49	0.25	0.57	0.78	0.47	1.18	0.24
20:109	0.08	0.05	0.14	0.02	0.24	0.35	0.39	0.20	0.22	0.40	0.19	0.35	0.14
20:2	0.39	0.05	0.37	0.07	0.39	0.72	0.69	0.49	0.89	0.89	0.74	0.89	0.34
20:306	0.10	0.03	0.07	0.03	0.04	0.16	0.19	0.09	0.57	0.23	0.22	0.25	0.15
20:303	1.84	0.30	1.25	0.32	0.55	2.29	4.07	1.92	6.84	4.67	5.53	5.60	3.13
20:406	0.25	0.04	0.22	0.04	0.30	0.46	0.34	0.26	1.80	0.52	0.42	0.67	0.28
20:503	2.64	0.50	2.17	0.66	0.69	2.43	5.71	3.21	8.49	7.95	4.83	8.85	3.26
22:0	0.27	0.03	0.21	0.04	0.09	0.22	0.26	0.12	0.25	0.41	0.20	0.48	0.10
22:1011	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00
22:109	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.04	0.00	0.16	0.00	0.08	0.04
22:2	0.14	0.05	0.18	0.13	0.21	0.34	0.29	0.12	2.44	0.75	0.48	2.59	0.29
23:0	0.25	0.04	0.16	0.02	0.15	0.19	0.13	0.07	0.29	0.26	0.11	0.68	0.09
22:503	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.00	0.12	0.09	0.33	0.13	0.11	0.19	0.09
24:0	0.12	0.02	0.06	0.02	0.04	0.00	0.03	0.02	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00

22:6ω3	0.43	0.08	0.48	0.14	0.15	0.22	0.94	0.43	1.02	1.13	0.71	1.68	0.41
24:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00

3) 장항습지 말뚝계 Age 3 지방산 조성비 조성비

단위 (%)

시기 지방산	2006 년 9 월		2006 년 10 월		2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년
	평균	표준오차	평균	표준오차	3 월	4 월	5 월	6 월	7 월	8 월	9 월	10 월	11 월
10:0	0.22	0.17	0.06	0.04	0.04	0.07	0.12	0.05	0.09	0.06	0.07	0.05	0.00
11:0	0.17	0.07	0.07	0.05	0.04	0.03	0.10	0.07	0.24	0.15	0.16	0.15	0.05
12:0	0.51	0.12	0.33	0.12	0.05	0.14	0.09	0.18	0.29	0.37	0.08	0.15	0.22
13:0	0.05	0.04	0.08	0.03	0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.04	0.06	0.09
14:0	4.38	1.45	2.36	0.33	0.73	1.07	0.83	2.16	0.52	1.39	1.16	0.83	1.21
14:1ω5	0.23	0.18	0.29	0.05	0.05	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.15	0.08	0.17
15:0	2.22	0.35	2.51	0.28	0.90	1.06	0.95	1.47	0.78	1.12	1.60	1.04	3.43
15:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16:0	31.57	1.31	24.91	1.11	18.84	18.41	16.48	20.95	13.03	15.92	18.54	19.26	22.35
16:1ω7	7.21	0.89	11.72	2.04	10.12	12.89	4.77	6.25	2.53	1.87	3.82	6.81	9.44
17:0	1.02	0.09	0.69	0.05	4.95	1.06	0.94	1.34	1.40	1.66	1.49	0.74	1.02

17:1	0.45	0.27	0.35	0.04	0.24	0.41	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39
18:0	4.99	0.84	3.06	1.13	3.71	8.06	9.20	7.40	12.24	10.84	8.82	5.90	2.34
18:109	15.83	2.40	15.89	1.47	21.80	16.05	16.33	14.60	16.48	18.68	18.88	23.83	18.95
18:107	2.20	0.39	1.85	0.36	2.91	2.76	2.39	2.45	2.44	2.37	2.35	2.60	2.00
18:206	10.45	0.98	18.09	4.48	12.97	2.77	13.91	14.55	15.97	9.19	14.26	15.48	17.68
18:306	0.07	0.05	0.02	0.02	0.07	0.13	0.06	0.05	0.00	0.10	0.08	0.05	0.05
18:303	12.37	0.58	12.39	1.88	8.84	7.35	7.16	14.61	7.63	4.95	10.15	10.88	15.45
18:403	0.12	0.03	0.12	0.04	0.15	0.17	0.18	0.09	0.09	0.56	0.13	0.10	0.00
20:0	0.32	0.02	0.28	0.05	0.29	0.96	0.89	0.64	1.15	1.14	0.65	0.41	0.21
20:109	0.12	0.04	0.18	0.02	0.34	0.33	0.34	0.27	0.29	0.35	0.29	0.50	0.15
20:2	0.35	0.07	0.31	0.04	1.04	1.03	0.97	0.85	1.42	1.00	0.90	0.55	0.56
20:306	0.04	0.02	0.07	0.03	0.19	0.21	0.18	0.11	0.13	0.34	0.16	0.11	0.20
20:303	1.36	0.07	1.17	0.32	4.13	8.76	6.04	4.27	7.03	7.79	5.61	2.91	1.52
20:406	0.20	0.04	0.22	0.04	0.41	0.54	0.65	0.57	0.95	1.59	0.56	0.30	0.27
20:503	2.14	0.46	1.65	0.65	5.34	11.46	10.84	4.77	11.68	9.11	7.31	5.50	1.32
22:0	0.27	0.04	0.28	0.07	0.13	0.41	0.40	0.29	0.35	0.47	0.26	0.21	0.18
22:1011	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00
22:109	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.14	0.15	0.03	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00

22:2	0.31	0.16	0.11	0.04	0.52	1.17	2.62	0.41	0.75	4.95	0.86	0.37	0.14
23:0	0.26	0.03	0.39	0.15	0.19	0.44	1.10	0.20	0.14	1.31	0.15	0.16	0.16
22:5ω3	0.02	0.02	0.02	0.01	0.09	0.23	0.20	0.10	0.31	0.31	0.12	0.14	0.07
24:0	0.07	0.05	0.13	0.03	0.04	0.10	0.00	0.08	0.00	0.00	0.04	0.00	0.08
22:6ω3	0.49	0.11	0.37	0.13	0.81	1.79	2.13	0.80	2.08	2.13	1.26	0.78	0.29
24:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

4) 장항습지 말뚝게 Age 4 지방산 조성비

단위 (%)

시기 지방산	2006 년 9 월		2006 년 10 월		2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년	2007 년
	평균	표준오차	평균	표준오차	3 월	4 월	5 월	6 월	7 월	8 월	9 월	10 월	11 월
10:0	0.85	0.29	0.68	0.60	0.04	0.20	0.18	0.07	0.09	0.11	0.03	0.08	0.01
11:0	0.13	0.05	0.13	0.04	0.15	0.13	0.34	0.13	0.26	0.06	0.11	0.23	0.02
12:0	0.27	0.07	0.24	0.06	0.24	0.25	0.34	0.04	0.14	0.12	0.12	0.24	0.13
13:0	0.02	0.02	0.06	0.04	0.06	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.08
14:0	4.95	3.15	1.87	0.58	0.76	1.50	0.88	0.57	0.79	0.31	0.50	0.80	1.61
14:1ω5	0.22	0.13	0.14	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26
15:0	1.54	0.31	1.84	0.50	1.40	1.47	0.57	0.74	0.73	0.72	1.37	0.93	2.61

15:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16:0	24.43	3.71	24.74	3.06	15.54	29.50	12.71	15.88	13.43	13.59	16.43	17.16	22.57
16:107	6.23	1.89	10.45	0.75	4.99	0.55	2.81	4.59	2.00	1.34	2.66	4.07	11.54
17:0	1.34	0.18	0.74	0.07	1.32	2.23	0.71	1.10	1.27	1.75	1.62	1.30	0.83
17:1	0.29	0.17	0.31	0.06	0.00	0.00	1.70	0.05	0.00	0.00	0.18	0.08	0.21
18:0	7.03	1.22	4.71	1.03	7.14	22.26	8.13	9.30	13.71	13.45	10.44	8.52	2.11
18:109	18.95	2.80	15.16	1.20	19.14	16.08	18.57	15.23	16.22	14.00	15.23	21.14	24.94
18:107	2.39	0.34	1.80	0.15	4.30	1.20	2.42	2.71	2.50	2.89	2.58	2.67	1.85
18:206	10.91	1.37	15.80	2.03	11.51	2.10	17.70	12.17	12.09	8.08	15.03	15.67	16.94
18:306	0.01	0.01	0.04	0.02	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.06
18:303	8.08	1.15	14.52	1.79	4.86	0.36	5.17	8.46	4.53	10.16	11.76	9.39	8.68
18:403	0.09	0.02	0.11	0.04	0.10	0.42	0.35	0.00	0.00	0.13	0.10	0.14	0.11
20:0	0.45	0.09	0.29	0.03	0.72	1.36	0.59	0.75	1.28	1.45	0.90	0.77	0.19
20:109	0.19	0.06	0.17	0.01	0.39	4.26	0.23	0.33	0.51	0.33	0.27	0.42	0.17
20:2	0.52	0.15	0.45	0.06	1.43	1.94	1.77	1.03	1.32	1.20	1.02	0.86	0.38
20:306	0.10	0.04	0.04	0.03	0.23	0.78	0.53	0.13	0.00	0.20	0.14	0.16	0.08
20:303	4.38	1.14	1.91	0.34	14.46	4.76	7.58	6.57	11.25	7.45	7.52	5.54	1.59
20:406	0.22	0.10	0.30	0.09	0.42	2.06	1.70	5.70	0.73	2.07	0.50	0.34	0.17

20:503	4.66	1.46	2.15	0.42	8.01	0.21	7.46	10.93	12.47	12.66	8.46	6.60	1.90
22:0	0.26	0.02	0.24	0.03	0.43	0.07	0.25	0.28	0.43	0.49	0.30	0.27	0.14
22:1011	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.20	0.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:109	0.00	0.00	0.02	0.02	0.10	0.23	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.00	0.05
22:2	0.32	0.13	0.29	0.11	0.36	4.28	3.92	0.65	1.67	2.83	0.62	0.77	0.10
23:0	0.15	0.01	0.21	0.04	0.18	0.41	0.70	0.22	0.00	0.66	0.18	0.16	0.12
22:503	0.02	0.02	0.02	0.02	0.25	0.93	0.50	0.23	0.00	0.40	0.22	0.24	0.05
24:0	0.01	0.01	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.05
22:603	0.99	0.35	0.48	0.11	1.27	0.25	1.51	2.18	2.58	3.14	1.60	1.27	0.47
24:109	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

5) 공통천하구습지 말뚝계 Age 1 지방산 조성비 조성비

단위 (%)

시기 지방산	2006 년 9 월		2006 년 10 월		2007 년 5 월	2007 년 9 월
	평균	표준오차	평균	표준오차		
10:0	0.00	0.00	0.28	0.12	0.06	0.00
11:0	0.17	0.05	0.21	0.12	0.12	0.03
12:0	0.42	0.08	0.97	0.28	0.17	0.13
13:0	0.16	0.04	0.18	0.05	0.02	0.06
14:0	2.44	0.61	2.90	0.34	2.29	0.96
14:1ω5	0.20	0.03	0.44	0.06	0.03	0.12
15:0	2.41	0.40	3.81	0.23	0.72	1.82
15:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16:0	27.30	1.80	23.31	1.07	22.96	18.23
16:1ω7	15.48	0.44	14.56	4.37	22.65	6.27
17:0	0.82	0.19	0.73	0.05	0.58	0.99
17:1	0.11	0.04	0.44	0.03	0.00	0.08
18:0	4.68	1.00	2.19	0.10	6.02	5.00
18:1ω9	12.95	2.65	11.80	0.63	9.89	17.06
18:1ω7	2.67	0.05	2.07	0.13	4.23	3.53
18:2ω6	13.31	2.41	13.81	2.89	7.33	22.87
18:3ω6	0.07	0.07	0.12	0.03	0.13	0.14
18:3ω3	8.03	0.97	16.90	1.70	2.27	10.94
18:4ω3	0.12	0.02	0.05	0.05	0.31	0.11
20:0	0.21	0.13	0.30	0.09	0.47	0.50
20:1ω9	0.24	0.11	0.15	0.05	0.27	0.28

20:2	0.44	0.07	0.34	0.07	1.38	0.48
20:3ω6	0.18	0.18	0.12	0.01	0.28	0.29
20:3ω3	1.79	0.26	1.19	0.04	4.86	3.28
20:4ω6	0.23	0.02	0.37	0.01	0.51	0.24
20:5ω3	3.49	0.93	1.71	0.04	8.58	4.67
22:0	0.26	0.06	0.26	0.08	0.20	0.27
22:1ω11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
22:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.06
22:2	0.14	0.14	0.00	0.00	1.01	0.30
23:0	0.34	0.10	0.24	0.08	0.35	0.21
22:5ω3	0.16	0.10	0.00	0.00	0.25	0.10
24:0	0.08	0.08	0.13	0.05	0.10	0.07
22:6ω3	1.08	0.02	0.43	0.06	1.67	0.90
24:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

6) 공통천하구습지 말뚝게 Age 2 지방산 조성비 조성비

단위 (%)

시기 지방산	2006 년 9 월		2006 년 10 월		2007 년 5 월	2007 년 9 월
	평균	표준오차	평균	표준오차		
10:0	0.02	0.02	0.06	0.06	0.05	2.39
11:0	0.20	0.07	0.77	0.70	0.07	0.11
12:0	0.29	0.11	0.58	0.19	0.05	0.22
13:0	0.14	0.02	0.13	0.02	0.01	0.06
14:0	2.29	0.22	3.02	0.54	1.12	1.14
14:1ω5	0.22	0.22	0.49	0.08	0.03	0.05
15:0	3.10	0.03	2.91	1.71	1.05	1.77

15:1	0.58	0.58	0.57	0.57	0.00	0.00
16:0	26.63	0.49	25.18	1.34	19.65	19.97
16:1፬7	15.24	0.23	19.38	0.24	10.36	6.05
17:0	0.79	0.00	0.83	0.41	0.68	1.23
17:1	0.13	0.13	0.43	0.02	0.09	0.13
18:0	2.95	0.90	1.76	0.29	5.31	5.35
18:1፬9	12.72	0.61	10.02	1.33	11.83	15.01
18:1፬7	2.06	0.36	1.97	0.34	2.93	3.16
18:2፬6	15.65	0.74	15.05	4.23	14.83	14.59
18:3፬6	0.04	0.04	0.51	0.51	0.05	0.10
18:3፬3	12.57	0.28	11.02	6.47	15.60	11.82
18:4፬3	0.10	0.00	0.13	0.03	0.18	0.17
20:0	0.27	0.04	0.16	0.03	0.33	0.45
20:1፬9	0.14	0.00	0.16	0.08	0.20	0.19
20:2	0.09	0.09	0.35	0.15	1.56	1.60
20:3፬6	0.10	0.01	0.14	0.01	0.44	0.36
20:3፬3	1.15	0.38	1.11	0.53	5.70	4.25
20:4፬6	0.19	0.06	0.21	0.09	1.27	0.78
20:5፬3	1.23	0.18	2.07	0.85	4.44	5.83
22:0	0.26	0.04	0.14	0.01	0.10	0.23
22:1፬11	0.00	0.00	0.03	0.03	0.10	0.05
22:1፬9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
22:2	0.08	0.08	0.13	0.13	1.00	1.20
23:0	0.31	0.05	0.07	0.07	0.12	0.28
22:5፬3	0.02	0.02	0.09	0.05	0.16	0.13
24:0	0.15	0.04	0.07	0.00	0.00	0.04
22:6፬3	0.26	0.01	0.47	0.18	0.71	1.12
24:1፬9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

7) 공통천하구습지 말뚝개 Age 3 지방산 조성비 조성비

단위 (%)

시기 지방산	2006 년 9 월		2006 년 10 월		2007 년 5 월	2007 년 9 월
	평균	표준오차	평균	표준오차		
10:0	1.20	1.20	0.00	0.00	0.15	0.19
11:0	0.22	0.01	0.19	0.06	0.14	0.33
12:0	0.60	0.32	1.06	0.28	0.00	0.38
13:0	0.08	0.08	0.04	0.04	0.00	0.00
14:0	2.87	0.09	2.72	0.72	0.62	1.60
14:1ω5	0.25	0.08	0.24	0.06	0.00	0.00
15:0	2.57	0.86	1.64	0.61	0.92	0.95
15:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16:0	26.86	0.89	32.70	7.91	16.32	15.33
16:1ω7	11.90	1.68	9.79	4.36	4.19	1.21
17:0	0.75	0.05	0.52	0.03	1.03	1.21
17:1	0.91	0.29	0.22	0.04	0.00	0.00
18:0	3.22	0.65	7.47	4.86	8.08	10.68
18:1ω9	12.81	3.14	13.86	1.02	8.83	10.02
18:1ω7	1.99	0.29	1.33	0.27	2.07	2.31
18:2ω6	12.55	0.10	12.82	5.34	16.79	9.07
18:3ω6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18:3ω3	16.53	8.66	10.86	1.60	20.73	4.39
18:4ω3	0.06	0.00	0.06	0.01	0.12	0.52
20:0	0.28	0.04	0.19	0.01	0.82	0.60
20:1ω9	0.11	0.11	0.25	0.12	0.22	0.00
20:2	0.32	0.05	0.26	0.10	0.98	8.58
20:3ω6	0.05	0.05	0.00	0.00	0.13	1.40
20:3ω3	1.01	0.49	0.64	0.22	5.21	11.78
20:4ω6	0.20	0.02	0.20	0.07	1.13	3.27

20:5ω3	1.49	0.77	1.07	0.54	8.39	5.70
22:0	0.19	0.00	0.14	0.02	0.26	0.27
22:1ω11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70
22:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.38
22:2	0.10	0.10	0.28	0.11	0.82	6.36
23:0	0.18	0.03	0.27	0.16	0.23	0.93
22:5ω3	0.06	0.06	0.16	0.12	0.00	0.00
24:0	0.11	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00
22:6ω3	0.56	0.29	0.95	0.47	1.81	1.85
24:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

8) 공통천하구습지 말뚝계 Stage 4 지방산 조성비 조성비 단위 (%)

시기 지방산	2006 년 9 월		2006 년 10 월		2007 년 9 월
	평균	표준오차	평균	표준오차	
10:0	0.85	0.85	0.09	0.09	0.11
11:0	0.52	0.06	0.23	0.10	0.29
12:0	0.58	0.13	1.39	0.91	0.25
13:0	0.13	0.13	0.04	0.04	0.00
14:0	1.61	0.78	1.72	0.14	0.78
14:1ω5	0.00	0.00	0.06	0.06	0.00
15:0	1.71	0.88	2.06	1.31	0.69
15:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16:0	20.49	5.98	39.38	14.96	16.31
16:1ω7	5.20	2.88	5.58	3.17	2.25
17:0	1.28	0.37	0.66	0.08	1.39
17:1	1.82	1.69	0.50	0.19	0.00
18:0	7.56	4.05	13.37	11.42	14.23
18:1ω9	18.58	1.71	5.68	2.72	14.66

18:1ω7	2.17	0.53	0.86	0.32	2.88
18:2ω6	12.16	0.18	9.22	5.34	11.12
18:3ω6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18:3ω3	10.03	4.46	16.74	13.52	5.71
18:4ω3	0.17	0.10	0.07	0.00	0.00
20:0	0.57	0.22	0.22	0.01	0.74
20:1ω9	0.23	0.23	0.04	0.04	0.21
20:2	0.74	0.36	0.19	0.10	1.07
20:3ω6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
20:3ω3	5.21	4.05	0.38	0.13	9.62
20:4ω6	0.30	0.08	0.20	0.08	0.81
20:5ω3	6.04	4.96	0.61	0.11	10.09
22:0	0.26	0.05	0.13	0.05	0.21
22:1ω11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:2	0.18	0.18	0.23	0.08	2.65
23:0	0.09	0.09	0.12	0.12	0.39
22:5ω3	0.14	0.14	0.00	0.00	0.34
24:0	0.00	0.00	0.06	0.06	0.00
22:6ω3	1.39	0.58	0.17	0.06	2.93
24:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

9) 성동습지 말뚝계 Age 1 지방산 조성비

단위 (%)

시기 지방산	2006 년 9 월		2006 년 10 월		2007 년	2007 년
	평균	표준오차	평균	표준오차	5 월	9 월
10:0	1.09	1.02	0.45	0.35	0.05	0.82
11:0	0.08	0.01	0.07	0.02	0.11	0.03
12:0	0.34	0.01	0.34	0.06	0.13	0.18

13:0	0.07	0.03	0.02	0.02	0.03	0.06
14:0	4.07	1.57	2.72	0.66	0.96	1.81
14:1፬5	0.37	0.01	0.38	0.08	0.00	0.17
15:0	2.18	0.67	1.67	0.10	0.94	1.62
15:1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16:0	23.94	4.47	25.48	1.42	18.05	29.87
16:1፬7	18.71	6.91	25.53	0.97	7.82	14.77
17:0	0.54	0.14	0.48	0.00	0.80	0.62
17:1	0.22	0.22	0.10	0.10	0.00	0.37
18:0	2.42	0.23	2.02	0.59	6.21	3.72
18:1፬9	18.41	8.58	14.44	3.27	16.50	15.10
18:1፬7	1.97	0.23	2.79	0.43	3.83	2.22
18:2፬6	14.61	3.24	13.01	0.17	15.72	16.62
18:3፬6	0.26	0.06	0.17	0.01	0.08	0.17
18:3፬3	5.59	1.62	5.29	1.76	9.51	6.98
18:4፬3	0.12	0.04	0.15	0.03	0.12	0.13
20:0	0.21	0.02	0.14	0.03	0.63	0.23
20:1፬9	0.17	0.02	0.13	0.02	0.40	0.17
20:2	0.28	0.02	0.25	0.00	0.97	0.22
20:3፬6	0.08	0.02	0.09	0.01	0.18	0.09
20:3፬3	0.88	0.03	0.96	0.25	4.16	0.94
20:4፬6	0.13	0.02	0.18	0.04	0.58	0.13
20:5፬3	2.18	0.59	2.46	0.51	9.29	1.88
22:0	0.18	0.01	0.04	0.04	0.24	0.18
22:1፬11	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
22:1፬9	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.09
22:2	0.21	0.07	0.04	0.04	0.46	0.13
23:0	0.14	0.02	0.04	0.04	0.18	0.20
22:5፬3	0.05	0.05	0.07	0.01	0.24	0.06

24:0	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.10
22:6ω3	0.39	0.12	0.46	0.09	1.83	0.34
24:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

10) 성동습지 말뚝계 Age 2 지방산 조성비

단위 (%)

시기 지방산	2006 년 9 월		2006 년 10 월		2007 년 5 월	2007 년 9 월
	평균	표준오차	평균	표준오차		
10:0	2.29	1.99	1.93	1.41	0.08	0.03
11:0	1.10	0.92	1.93	1.76	0.14	0.07
12:0	0.18	0.04	0.47	0.07	0.14	0.12
13:0	0.03	0.03	0.05	0.05	0.00	0.08
14:0	5.54	0.02	3.82	0.57	0.49	1.07
14:1ω5	0.23	0.11	0.45	0.30	0.00	0.16
15:0	2.14	1.33	3.54	2.77	0.92	2.01
15:1	0.54	0.54	1.16	1.16	0.00	0.00
16:0	30.52	1.94	25.19	4.53	14.90	0.17
16:1ω7	37.44	1.92	28.62	2.36	2.33	13.15
17:0	0.58	0.58	1.44	1.16	0.91	0.89
17:1	0.03	0.03	0.11	0.11	0.00	0.10
18:0	1.41	0.09	3.01	0.05	8.99	6.02
18:1ω9	3.36	0.28	6.01	0.92	12.29	28.68
18:1ω7	2.12	0.42	3.72	0.02	2.04	2.85
18:2ω6	1.38	0.22	2.62	0.62	25.32	29.35
18:3ω6	1.38	0.72	2.12	1.35	0.00	0.08
18:3ω3	0.94	0.15	0.87	0.12	9.87	9.72
18:4ω3	0.60	0.22	0.50	0.08	0.00	0.08
20:0	0.16	0.16	0.30	0.03	0.89	0.39

20:1ω9	0.00	0.00	0.11	0.01	0.26	0.25
20:2	0.14	0.04	0.28	0.00	1.40	0.37
20:3ω6	0.24	0.08	0.48	0.19	0.10	0.09
20:3ω3	1.39	0.20	2.77	0.29	6.07	1.35
20:4ω6	0.08	0.08	0.26	0.19	0.67	0.24
20:5ω3	5.05	1.03	6.48	0.81	9.26	1.65
22:0	0.04	0.04	0.20	0.03	0.34	0.23
22:1ω11	0.09	0.02	0.16	0.01	0.00	0.00
22:1ω9	0.00	0.00	0.10	0.10	0.00	0.00
22:2	0.22	0.22	0.13	0.13	0.56	0.31
23:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.25
22:5ω3	0.21	0.06	0.23	0.03	0.21	0.00
24:0	0.00	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00
22:6ω3	0.56	0.21	0.90	0.07	1.65	0.25
24:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

11) 성동습지 말뚝계 Age 3 지방산 조성비 단위 (%)

시기 지방산	2007 년 5 월	2007 년 9 월
10:0	0.06	0.06
11:0	0.09	0.07
12:0	0.00	0.07
13:0	0.00	0.02
14:0	0.39	0.67
14:1ω5	0.00	0.03
15:0	0.60	0.92
15:1	0.00	0.00
16:0	14.27	17.01

16:1ω7	2.60	4.09
17:0	0.82	0.69
17:1	0.00	0.09
18:0	8.26	4.69
18:1ω9	13.78	17.93
18:1ω7	1.95	1.74
18:2ω6	18.13	30.82
18:3ω6	0.00	0.03
18:3ω3	17.83	14.68
18:4ω3	0.00	0.07
20:0	0.65	0.36
20:1ω9	0.29	0.21
20:2	1.34	0.47
20:3ω6	0.10	0.06
20:3ω3	5.60	1.29
20:4ω6	1.03	0.39
20:5ω3	9.18	2.18
22:0	0.24	0.19
22:1ω11	0.00	0.00
22:1ω9	0.00	0.15
22:2	0.70	0.32
23:0	0.18	0.21
22:5ω3	0.15	0.00
24:0	0.00	0.00
22:6ω3	1.75	0.47
24:1ω9	0.00	0.00

12) 성동습지 말뚝계 Age 4 지방산 조성비 단위 (%)

시기 지방산	2007 년 5 월	2007 년 9 월
10:0	0.07	0.02
11:0	0.08	0.03
12:0	0.11	0.21
13:0	0.00	0.07
14:0	0.58	1.92
14:1ω5	0.00	0.31
15:0	0.25	1.98
15:1	0.00	0.00
16:0	15.32	24.11
16:1ω7	4.12	6.12
17:0	0.74	0.60
17:1	0.12	0.19
18:0	5.57	2.68
18:1ω9	16.20	22.89
18:1ω7	2.21	1.78
18:2ω6	21.34	25.73
18:3ω6	0.00	0.03
18:3ω3	16.77	8.75
18:4ω3	0.00	0.04
20:0	0.40	0.19
20:1ω9	0.28	0.14
20:2	1.20	0.25
20:3ω6	0.16	0.03
20:3ω3	4.49	0.50
20:4ω6	0.90	0.11
20:5ω3	5.94	0.57
22:0	0.18	0.16
22:1ω11	0.00	0.00
22:1ω9	0.27	0.01

22:2	0.91	0.13
23:0	0.39	0.17
22:5㉓3	0.15	0.04
24:0	0.00	0.11
22:6㉓3	1.23	0.15
24:1㉓9	0.00	0.00

13) 장항습지 기타 시료 지방산 조성비

단위 (%)

시기 시료 지방산	2006 년 9 월 선버들	2006 년 10 월 선버들	2008 년 4 월 선버들	2006 년 9 월 Sediment	2008 년 4 월 Sediment	2008 년 4 월 Sediment + 부착조류	2008 년 9 월 Sediment	2008 년 9 월 펼콩게
10:0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.09	2.64	0.08
11:0	0.00	0.00	0.06	0.00	2.14	4.51	1.75	0.29
12:0	0.07	1.33	0.18	0.51	0.74	0.14	2.76	0.20
13:0	0.03	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
14:0	1.42	7.99	1.01	4.30	4.35	4.02	3.79	0.89
14:1㉓5	0.15	0.69	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00
15:0	0.90	0.72	0.17	0.94	2.07	0.39	1.90	0.39
15:1	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16:0	19.98	23.68	23.22	30.94	23.69	46.94	18.15	20.31
16:1㉓7	9.05	23.68	0.00	30.87	9.71	8.56	3.51	10.37
17:0	0.75	0.43	0.00	0.40	2.57	0.48	1.09	0.89
17:1	0.32	0.11	0.00	4.70	0.00	0.68	0.00	0.00
18:0	3.81	1.61	1.24	1.89	8.61	4.07	7.93	11.77
18:1㉓9	16.57	5.19	2.96	6.36	7.29	12.31	8.61	8.55
18:1㉓7	2.33	0.60	0.23	1.60	2.35	2.82	2.41	4.83
18:2㉓6	29.02	11.87	20.36	5.12	1.52	3.11	5.68	3.90
18:3㉓6	0.15	0.00	0.00	0.57	0.00	0.07	0.00	0.43
18:3㉓3	8.73	20.28	48.01	4.90	1.20	5.95	1.30	1.49
18:4㉓3	0.08	0.19	0.00	1.29	1.54	0.26	2.29	0.42

20:0	0.40	0.80	0.94	0.37	2.33	0.61	2.74	1.92
20:1ω9	0.21	0.00	0.13	0.00	0.00	0.64	0.00	0.44
20:2	0.34	0.00	0.25	0.14	0.00	0.00	0.00	1.34
20:3ω6	0.12	0.00	0.00	0.08	0.00	0.13	1.74	0.39
20:3ω3	2.08	0.00	0.08	0.76	3.62	0.37	5.29	6.61
20:4ω6	0.14	0.00	0.22	0.15	2.39	0.33	3.43	0.46
20:5ω3	2.58	0.00	0.00	3.05	1.49	0.68	0.00	15.48
22:0	0.23	0.26	0.22	0.15	1.12	0.24	1.27	0.81
22:1ω11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:1ω9	0.00	0.38	0.06	0.00	1.45	0.80	1.95	0.24
22:2	0.00	0.00	0.40	0.00	16.13	1.12	18.33	0.90
23:0	0.13	0.00	0.08	0.06	1.46	0.24	1.42	0.18
22:5ω3	0.00	0.00	0.00	0.14	1.34	0.12	0.00	0.40
24:0	0.07	0.16	0.15	0.14	0.00	0.14	0.00	0.00
22:6ω3	0.36	0.00	0.05	0.34	0.00	0.00	0.00	6.02
24:1ω9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00

부록 3-1. 한강하구 생물목록 (식물)

Local name	Scientific name
양치식물문 (Pteridophytes)	
속새강 (Equisetineae)	
속새목 (Equisetales)	
속새과 (Equisetaceae)	
개속새	<i>Equisetum ramosissimum</i> Desf.
속새	<i>Equisetum hyemale</i> L.
쇠뜨기	<i>Equisetum arvense</i> L.
피자식물문 (Angiosperms)	
단자엽식물강 (Monocotyledoneae)	
골풀목 (Juncales)	
골풀과 (Juncaceae)	
갯골풀	<i>Juncus haenkei</i> E.Mey.
골풀	<i>Juncus effusus</i> var. <i>decipiens</i> Buchenau
길골풀	<i>Juncus tenuis</i> Willd.
물골풀	<i>Juncus gracillimus</i> (Buchenau) V.I.Krecz. & Gontsch.
참비녀골풀	<i>Juncus leschenaultii</i> J.Gay
닭의장풀목 (Commelinales)	
닭의장풀과 (Commelinaceae)	
닭의장풀	<i>Commelina communis</i> L.
사마귀풀	<i>Aneilema keisak</i> Hassk.
미종자목 (Microspermae)	
난초과 (Orchidaceae)	
타래난초	<i>Spiranthes sinensis</i> (Pers.) Ames
백합목 (Liliiflorae)	
마과 (Dioscoreaceae)	
참마	<i>Dioscorea japonica</i> Thunb.
백합과 (Liliaceae)	
무릇	<i>Scilla scilloides</i> (Lindl.) Druce
산달래	<i>Allium macrostemon</i> Bunge
애기원추리	<i>Hemerocallis minor</i> Mill.

부록 3-1. Continued

마늘	<i>Allium scorodorpasum</i> var. <i>viviparum</i> Regel
원추리	<i>Hemerocallis fulva</i> (L.) L.
붓꽃과 (Iridaceae)	
노랑꽃창포	<i>Iris pseudacorus</i> L.
부들목 (Typhales)	
부들과 (Typhaceae)	
꼬마부들	<i>Typha laxmanni</i> Lepech.
부들	<i>Typha orientalis</i> C.Presl
애기부들	<i>Typha angustifolia</i> L.
사초목 (Cyperales)	
사초과 (Cyperaceae)	
괭이사초	<i>Carex neurocarpa</i> Maxim.
구슬사초	<i>Carex orbicularis</i> var. <i>brachylepis</i> Kuk.
그늘사초	<i>Carex lanceolata</i> Boott
드렁방동사니	<i>Cyperus globosus</i> All.
금방동사니	<i>Cyperus microiria</i> Steud.
너도방동사니	<i>Cyperus serotinus</i> Rottb.
도루박이	<i>Scirpus radicans</i> Schkuhr
매자기	<i>Scirpus maritimus</i> L.
물고랭이	<i>Scirpus nipponicus</i> Makino
물방동사니	<i>Cyperus glomeratus</i> L.
방동사니	<i>Cyperus amuricus</i> Maxim.
산괭이사초	<i>Carex leiorhyncha</i> C.A.Mey.
세대가리	<i>Lipocarpa microcephala</i> (R.Br.) Kunth
새섬매자기	<i>Bolboschoenus planiculmis</i> (F.Schmidt) T.V.Egorova
세모고랭이	<i>Scirpus triqueter</i> L.
송이고랭이	<i>Scirpus triangulatus</i> Roxb.
쇠털골	<i>Eleocharis acicularis</i> f. <i>longiseta</i> (Svenson) T.Koyama
실사초	<i>Carex fernaldiana</i> H.Lev. & Vaniot
알방동사니	<i>Cyperus difformis</i> L.
왕골	<i>Cyperus exaltatus</i> var. <i>iwasakii</i> T.Koyama
이삭사초	<i>Carex dimorpholepis</i> Steud.

부록 3-1. Continued

좀보리사초	<i>Carex pumila</i> Thunb.
참방동사니	<i>Cyperus iria</i> L.
천일사초	<i>Carex scabrifolia</i> Steud.
청사초	<i>Carex breviculmis</i> R.Br.
큰고랭이	<i>Scirpus lacustris</i> var. <i>creber</i> (Fern.) T.Koyama
큰천일사초	<i>Carex rugulosa</i> Kuk. var. <i>rugulosa</i>
파대가리	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.
소생식물목 (Helobiae)	
가래과 (Potamogetonaceae)	
대가래	<i>Potamogeton malaianus</i> Miq.
실말	<i>Potamogeton pusillus</i> L.
나자스말과 (Najadaceae)	
나자스말	<i>Najas graminea</i> Delile
택사과 (Alismataceae)	
보풀	<i>Sagittaria aginashi</i> Makino
질경이택사	<i>Alisma orientale</i> (Sam.) Juz.
천남성목 (Spathiflorae)	
천남성과 (Araceae)	
창포	<i>Acorus calamus</i> L.
개구리밥과 (Lemnaceae)	
좀개구리밥	<i>Lemna perpusilla</i> Torr.
화본목 (Graminales)	
벼과 (Gramineae)	
가는잎모새달	<i>Phacelurus latifolius</i> for. <i>angustifolius</i> (Debeaux) Kitag.
가을강아지풀	<i>Setaria faberii</i> Herrm.
갈대	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.
갈풀	<i>Phalaris arundinacea</i> L.
강아지풀	<i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv. var. <i>viridis</i>
개기장	<i>Panicum bisulcatum</i> Thunb.
개밀	<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i> (Hack.) Ohwi
개피	<i>Beckmannia syzigachne</i> (Steud.) Fernald
갯잔디	<i>Zoysia sinica</i> Hance

부록 3-1. Continued

겨이삭	<i>Agrostis clavata</i> var. <i>nukabo</i> Ohwi
그령	<i>Eragrostis ferruginea</i> (Thunb.) P.Beauv.
금강아지풀	<i>Setaria glauca</i> (L.) P.Beauv.
나도개피	<i>Eriochloa villosa</i> (Thunb.) Kunth
나도겨풀	<i>Leersia japonica</i> Makino
나도바랭이새	<i>Microstegium vimineum</i> (Trin.) A.Camus var. <i>vimineum</i>
기름새	<i>Spodiopogon cotulifer</i> (Thunb.) Hack.
기장대풀	<i>Isachne globosa</i> (Thunb.) Kuntze
달뿌리풀	<i>Phragmites japonica</i> Steud.
독보리	<i>Lolium temulentum</i> L.
돌피	<i>Echinochloa crusgalli</i> (L.) P.Beauv. var. <i>crusgalli</i>
드령새	<i>Leptochloa chinensis</i> (L.) Nees
독새풀	<i>Alopecurus aequalis</i> Sobol.
띠	<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i> (Retz.) Pilg.
모새달	<i>Phacelurus latifolius</i> (Steud.) Ohwi
물억새	<i>Miscanthus sacchariflorus</i> (Maxim.) Benth.
물피	<i>Echinochloa crusgalli</i> var. <i>oryzicola</i> (Vasinger) Ohwi
미국개기장	<i>Panicum dichotomiflorum</i> Michx.
민바랭이	<i>Digitaria violascens</i> Link
바랭이	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koel.
벼	<i>Oryza sativa</i> L. var. <i>sativa</i>
비노리	<i>Eragrostis multicaulis</i> Steud.
산조풀	<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth
새	<i>Arundinella hirta</i> (Thunb.) Koidz.
속털개밀	<i>Agropyron ciliare</i> (Trin.) Franch.
솔새	<i>Themeda triandra</i> var. <i>japonica</i> (Willd.) Makino
쇠보리	<i>Ischaemum crassipes</i> (Steud.) Thell.
쇠치기풀	<i>Hemarthria sibirica</i> (Gand.) Ohwi
쇠풀	<i>Andropogon brevifolius</i> Sw.
수강아지풀	<i>Setaria × pycnocomma</i> (Steud.) Henrard ex Nakai
수크령	<i>Pennisetum alopecuroides</i> (L.) Spreng. var. <i>alopecuroides</i>

부록 3-1. Continued

오리새	<i>Dactylis glomerata</i> L.
왕바랭이	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.
왕포아풀	<i>Poa pratensis</i> L.
잔디	<i>Zoysia japonica</i> Steud.
잔디바랭이	<i>Dimeria ornithopoda</i> Trin.
조개풀	<i>Arthraxon hispidus</i> (Thunb.) Makino
줄	<i>Zizania latifolia</i> (Griseb.) Turcz. ex Stapf
쥐꼬리새	<i>Muhlenbergia japonica</i> Steud.
참새귀리	<i>Bromus japonicus</i> Thunb. ex Murray
참새피	<i>Paspalum thunbergii</i> Kunth ex Steud.
참억새	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson var. <i>sinensis</i>
큰기름새	<i>Spodiopogon sibiricus</i> Trin.
큰김의털	<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.
큰덤성이삭새	<i>Microstegium vimineum</i> var. <i>imberbe</i> (Nees ex Steud.) Honda
큰조아재비	<i>Phleum pratense</i> L.
털빚새귀리	<i>Bromus tectorum</i> L. var. <i>tectorum</i>
털새	<i>Arundinella hirta</i> var. <i>ciliata</i> Koidz.
포아풀	<i>Poa sphondylodes</i> Trin.
피	<i>Echinochloa utilis</i> Ohwi & Yabuno
향모	<i>Hierochloa odorata</i> (L.) P.Beauv.
쌍자엽식물강 (Dicotyledoneae)	
단향목 (Santalales)	
단향과 (Santalaceae)	
제비꽃	<i>Thesium chinense</i> Turcz.
도금양목 (Myrtiflorae)	
바늘꽃과 (Onagraceae)	
달맞이꽃	<i>Oenothera biennis</i> L.
여뀌바늘	<i>Ludwigia prostrata</i> Roxb.
큰달맞이꽃	<i>Oenothera erythrosepala</i> Borbas
부처꽃과 (Lythraceae)	
털부처꽃	<i>Lythrum salicaria</i> L.
마디풀목 (Polygonales)	

부록 3-1. Continued

마디풀과 (Polygonaceae)	
개여뀌	<i>Persicaria longiseta</i> (Bruijn) Kitag.
고마리	<i>Persicaria thunbergii</i> (Siebold & Zucc.) H.Gross ex Nakai
대동여뀌	<i>Persicaria erectominor</i> var. <i>koreensis</i> (Nakai) I.Ito
마디풀	<i>Polygonum aviculare</i> L.
며느리밑씻개	<i>Persicaria senticosa</i> (Meisn.) H.Gross ex Nakai var. <i>senticosa</i>
며느리배꼽	<i>Persicaria perfoliata</i> (L.) H.Gross
명아자여뀌	<i>Persicaria nodosa</i> (Pers.) Opiz
묵발소리쟁이	<i>Rumex conglomeratus</i> Murray
미꾸리낚시	<i>Persicaria sagittata</i> (L.) H.Gross ex Nakai
바보여뀌	<i>Persicaria pubescens</i> (Blume) H.Hara
소리쟁이	<i>Rumex crispus</i> L.
숨흰여뀌	<i>Persicaria lapathifolia</i> var. <i>salicifolia</i> Miyabe
수영	<i>Rumex acetosa</i> L.
애기수영	<i>Rumex acetosella</i> L.
여뀌	<i>Persicaria hydropiper</i> (L.) Spach var. <i>hydropiper</i>
좁소리쟁이	<i>Rumex nipponicus</i> Franch. & Sav.
좁은잎미꾸리낚시	<i>Persicaria praetermissa</i> (Hook.f.) Hara
참소리쟁이	<i>Rumex japonicus</i> Houtt.
큰끈끈이여뀌	<i>Persicaria viscofera</i> var. <i>robusta</i> (Makino) Hiyama
흰여뀌	<i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Gray var. <i>lapathifolia</i>
무환자나무목 (Sapindales)	
무환자나무과 (Sapindaceae)	
모감주나무	<i>Koelreuteria paniculata</i> Laxmann
욱나무과 (Anacardiaceae)	
붉나무	<i>Rhus javanica</i> L.
물푸레나무목 (Oleales)	
물푸레나무과 (Oleaceae)	
쥐똥나무	<i>Ligustrum obtusifolium</i> Siebold & Zucc.
미나리아재비목 (Ranunculales)	
미나리아재비과 (Ranunculaceae)	

부록 3-1. Continued

개구리갓	<i>Ranunculus ternatus</i> Thunb.
개구리자리	<i>Ranunculus sceleratus</i> L.
젓가락나물	<i>Ranunculus chinensis</i> Bunge
박목 (Cucurbitales)	
박과 (Cucurbitaceae)	
가시박	<i>Sicyos angulatus</i> L.
뚜껑덩굴	<i>Actinostemma lobatum</i> Maxim.
참외	<i>Cucumis melo</i> var. <i>makuwa</i> Makino
호박	<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne
버드나무목 (Salicales)	
버드나무과 (Salicaceae)	
개수양버들	<i>Salix dependens</i> Nakai
갯버들	<i>Salix gracilistyla</i> Miq.
능수버들	<i>Salix pseudolasiogyne</i> H.Lev.
버드나무	<i>Salix koreensis</i> Andersson
선버들	<i>Salix subfragilis</i> Andersson
수양버들	<i>Salix babylonica</i> L.
용버들	<i>Salix matsudana</i> for. <i>tortuosa</i> Rehder
은사시나무	<i>Populus tomentiglandulosa</i> T.B.Lee
키버들	<i>Salix koriyanagi</i> Kimura for. <i>koriyanagi</i>
호랑버들	<i>Salix caprea</i> L.
산토끼꽃목 (Dipsacales)	
마타리과 (Valerianaceae)	
마타리	<i>Patrinia scabiosaefolia</i> Fisch. ex Trevir.
산형화목 (Umbelliflorae)	
산형과 (Umbelliferae)	
개발나물	<i>Sium suave</i> Walter
미나리	<i>Oenanthe javanica</i> (Blume) DC.
별사상자	<i>Cnidium monnieri</i> (L.) Cusson
쐰기풀목 (Urticales)	
뽕나무과 (Moraceae)	
뽕나무	<i>Morus alba</i> L.
삼과 (Cannabanaceae)	

부록 3-1. Continued

환삼덩굴	<i>Humulus japonicus</i> Siebold & Zucc.
쑥기풀과 (Urticaceae)	
가는잎쑥기풀	<i>Urtica angustifolia</i> Fisch. ex Hornem.
애기쑥기풀	<i>Urtica laetevirens</i> Maxim.
아욱목 (Malvales)	
아욱과 (Malvaceae)	
어저귀	<i>Abutilon theophrasti</i> Medicus
앵초목 (Primulales)	
앵초과 (Primulaceae)	
뚜껍별꽃	<i>Anagallis arvensis</i> L.
봄맞이	<i>Androsace umbellata</i> (Lour.) Merr.
양귀비목 (Papaverales)	
십자화과 (Brassicaceae)	
구슬다닥냉이	<i>Neslia paniculata</i> (L.) Desv.
꽃다지	<i>Draba nemorosa</i> L. for. <i>nemorosa</i>
나도냉이	<i>Barbarea orthoceras</i> Ledeb.
냉이	<i>Capsella bursapastoris</i> (L.) L.W.Medicus
다닥냉이	<i>Lepidium apetalum</i> Willd.
말냉이	<i>Thlaspi arvense</i> L.
속속이풀	<i>Rorippa palustris</i> (Leyss.) Besser
유럽나도냉이	<i>Barbarea vulgaris</i> R.Br.
유채	<i>Brassica napus</i> L.
좁쌀냉이	<i>Cardamine fallax</i> L.
콩다닥냉이	<i>Lepidium virginicum</i> L.
황새냉이	<i>Cardamine flexuosa</i> With.
양귀비과 (Papaveraceae)	
애기똥풀	<i>Chelidonium majus</i> var. <i>asiaticum</i> (Hara) Ohwi
용담목 (Gentianales)	
꼭두서니과 (Rubiaceae)	
갈퀴덩굴	<i>Galium spurium</i> var. <i>echinospermon</i> (Wallr.) Hayek
백령풀	<i>Diodia teres</i> Walter var. <i>teres</i>
참갈퀴덩굴	<i>Galium koreanum</i> (Nakai) Nakai

부록 3-1. Continued

박주가리과 (Asclepiadaceae)	
박주가리	<i>Metaplexis japonica</i> (Thunb.) Makino
운향목 (Rutales)	
소태나무과 (Simaroubaceae)	
가죽나무	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle for. <i>altissima</i>
장미목 (Rosales)	
돌나물과 (Crassulaceae)	
돌나물	<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge
버즘나무과 (Platanaceae)	
양버즘나무	<i>Platanus occidentalis</i> L.
장미과 (Rosaceae)	
가락지나물	<i>Potentilla anemonefolia</i> Lehm.
개소시랑개비	<i>Potentilla supina</i> L.
꼬리조팝나무	<i>Spiraea salicifolia</i> L.
멍석딸기	<i>Rubus parvifolius</i> L. for. <i>parvifolius</i>
산사나무	<i>Crataegus pinnatifida</i> Bunge
산딸기	<i>Rubus crataegifolius</i> Bunge
조팝나무	<i>Spiraea prunifolia</i> for. <i>simpliciflora</i> Nakai
찔레꽃	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.
콩과 (Fabaceae)	
갈퀴나물	<i>Vicia amoena</i> Fisch. ex DC.
개싸리	<i>Lespedeza tomentosa</i> (Thunb.) Siebold ex Maxim.
개자리	<i>Medicago polymorpha</i> L.
구주갈퀴덩굴	<i>Vicia sepium</i> L.
돌콩	<i>Glycine soja</i> Siebold & Zucc.
들완두	<i>Vicia bungei</i> Ohwi
등갈퀴나물	<i>Vicia cracca</i> L.
땅비수리	<i>Lespedeza juncea</i> (L.f.) Pers.
매듭풀	<i>Kummerowia striata</i> (Thunb.) Schindl.
별노랑이	<i>Lotus corniculatus</i> var. <i>japonica</i> Regel
별완두	<i>Vicia amurensis</i> Oett.
붉은토끼풀	<i>Trifolium pratense</i> L.

부록 3-1. Continued

비수리	<i>Lespedeza cuneata</i> G.Don
새팍	<i>Vigna angularis</i> var. <i>nipponensis</i> (Ohwi) Ohwi & H.Ohashi
아까시나무	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.
자귀나무	<i>Albizia julibrissin</i> Durazz.
자귀풀	<i>Aeschynomene indica</i> L.
전동싸리	<i>Melilotus suaveolens</i> Ledeb.
족제비싸리	<i>Amorpha fruticosa</i> L.
좁싸리	<i>Lespedeza virgata</i> (Thunb.) DC.
차풀	<i>Chamaecrista nomame</i> (Siebold) H.Ohashi
참싸리	<i>Lespedeza cyrtobotrya</i> Miq.
토끼풀	<i>Trifolium repens</i> L.
활나물	<i>Crotalaria sessiliflora</i> L.
제비꽃목 (Violales)	
제비꽃과 (Violaceae)	
제비꽃	<i>Viola mandshurica</i> W.Becker
콩제비꽃	<i>Viola verecunda</i> A.Gray var. <i>verecunda</i>
호제비꽃	<i>Viola yedoensis</i> Makino
흰젖제비꽃	<i>Viola lactiflora</i> Nakai
중심자목 (Centrospermales)	
명아주과 (Chenopodiaceae)	
가는갯는쟁이	<i>Atriplex gmelinii</i> C.A. Mey.
나문재	<i>Suaeda glauca</i> (Bunge) Bunge
명아주	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i> Makino
좁명아주	<i>Chenopodium ficifolium</i> Smith
청명아주	<i>Chenopodium bryoniaefolium</i> Bunge
취명아주	<i>Chenopodium glaucum</i> L.
비름과 (Amaranthaceae)	
쇠무릎	<i>Achyranthes japonica</i> (Miq.) Nakai
털비름	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.
석죽과 (Caryophyllaceae)	
개미자리	<i>Sagina japonica</i> (Sw.) Ohwi
끈끈이대나물	<i>Silene armeria</i> L.

부록 3-1. Continued

버룩나물	<i>Stellaria alsine</i> var. <i>undulata</i> (Thunb.) Ohwi
버룩이자리	<i>Arenaria serpyllifolia</i> L.
쇠별꽃	<i>Stellaria aquatica</i> (L.) Scop.
유럽점나도나물	<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.
점나도나물	<i>Cerastium holosteoides</i> var. <i>hallaesanense</i> (Nakai) Mizush.
패랭이꽃	<i>Dianthus chinensis</i> L. var. <i>chinensis</i>
쇠비름과 (Portulacaceae)	
쇠비름	<i>Portulaca oleracea</i> L.
자리공과 (Phytolaccaceae)	
미국자리공	<i>Phytolacca americana</i> L.
쥐방울덩굴목 (Aristolochiales)	
쥐방울덩굴과 (Aristolochiaceae)	
쥐방울덩굴	<i>Aristolochia contorta</i> Bunge
쥐손이풀목 (Geraniales)	
괭이밥과 (Oxalidaceae)	
괭이밥	<i>Oxalis corniculata</i> L.
대극과 (Euphorbiaceae)	
광대싸리	<i>Securinega suffruticosa</i> (Pall.) Rehder
깨풀	<i>Acalypha australis</i> L.
땅빈대	<i>Euphorbia humifusa</i> Willd. ex Schlttdl.
애기땅빈대	<i>Euphorbia supina</i> Raf.
여우구슬	<i>Phyllanthus urinaria</i> L.
질경이목 (Plantaginales)	
질경이과 (Plantaginaceae)	
긴포꽃질경이	<i>Plantago aristata</i> Michx.
왕질경이	<i>Plantago major</i> var. <i>japonica</i> (Franch. & Sav.) Miyabe
질경이	<i>Plantago asiatica</i> L.
털질경이	<i>Plantago depressa</i> Willd.
초롱꽃목 (Campanulales)	
국화과 (Asteraceae)	
가는금불초	<i>Inula britannica</i> var. <i>linariifolia</i> (Turcz.) Regel
가시도꼬마리	<i>Xanthium italicum</i> Moore

부록 3-1. Continued

가시상추	<i>Lactuca scariola</i> L.
개망초	<i>Erigeron annuus</i> (L.) Pers.
개사철쭉	<i>Artemisia apiacea</i> Hance ex Walp.
개쑥갓	<i>Senecio vulgaris</i> L.
고들빼기	<i>Crepidiastrum sonchifolium</i> (Bunge) Pak & Kawano
금계국	<i>Coreopsis drumondii</i> Torr. & A.Gray
금불초	<i>Inula britannica</i> var. <i>japonica</i> (Thunb.) Franch. & Sav.
나도재쑥	<i>Descurainia pinnata</i> Britton
단풍잎돼지풀	<i>Ambrosia trifida</i> L. var. <i>trifida</i>
도꼬마리	<i>Xanthium strumarium</i> L.
돼지풀	<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.
동탄지	<i>Helianthus tuberosus</i> L.
망초	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist
머위	<i>Petasites japonicus</i> (Siebold & Zucc.) Maxim.
물쑥	<i>Artemisia selengensis</i> Turcz. ex Besser
미국가막사리	<i>Bidens frondosa</i> L.
미국쑥부쟁이	<i>Aster pilosus</i> Willd.
방가지뚥	<i>Sonchus oleraceus</i> L.
붉은서나물	<i>Erechtites hieracifolia</i> Raf.
비쑥	<i>Artemisia scoparia</i> Waldst. & Kit.
비짜루국화	<i>Aster subulatus</i> Michx.
뺨쑥	<i>Artemisia feddei</i> H.Lev. & Vaniot
뽕리뱅이	<i>Youngia japonica</i> (L.) DC.
사데풀	<i>Sonchus brachyotus</i> DC.
사철쑥	<i>Artemisia capillaris</i> Thunb.
산국	<i>Dendranthema boreale</i> (Makino) Ling ex Kitam.
산민들레	<i>Taraxacum ohwianum</i> Kitam.
산쑥	<i>Artemisia montana</i> (Nakai) Pamp.
서양민들레	<i>Taraxacum officinale</i> Weber
선씀바귀	<i>Ixeris strigosa</i> (H.Lev. & Vaniot) J.H.Pak & Kawano
선풀숨나물	<i>Gnaphalium calviceps</i> Fernald
수레국화	<i>Centaurea cyanus</i> L.

부록 3-1. Continued

실망초	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist
쑥	<i>Artemisia princeps</i> Pamp.
씀바귀	<i>Ixeridium dentatum</i> (Thunb. ex Mori) Tzvelev
왕고들빼기	<i>Lactuca indica</i> L.
원추천인국	<i>Rudbeckia bicolor</i> Nutt.
울무쑥	<i>Artemisia koidzumii</i> Nakai
이고들빼기	<i>Crepidiastrum denticulatum</i> (Houtt.) Pak & Kawano
조뱅이	<i>Breea segeta</i> (Willd.) Kitam. for. <i>segeta</i>
주홍서나물	<i>Crassocephalum crepidioides</i> (Benth.) S.Moore
중대가리풀	<i>Centipeda minima</i> (L.) A.Br. & Asch.
지느러미영경귀	<i>Carduus crispus</i> L.
지칭개	<i>Hemistepa lyrata</i> Bunge
참쑥	<i>Artemisia dubia</i> Wall.
큰금계국	<i>Coreopsis lanceolata</i> L.
큰도꼬마리	<i>Xanthium canadense</i> Mill.
큰비쑥	<i>Artemisia fukudo</i> Makino
큰비짜루국화	<i>Aster subulatus</i> var. <i>sandwicensis</i> A.G.Jones
큰영경귀	<i>Cirsium pendulum</i> Fisch. ex DC.
털별꽃아재비	<i>Galinsoga ciliata</i> (Raf.) S.F.Blake
풀숨나물	<i>Gnaphalium japonicum</i> Thunb.
한련초	<i>Eclipta prostrata</i> (L.) L.
황해쑥	<i>Artemisia argyi</i> H.Lev. & Vaniot
흰민들레	<i>Taraxacum coreanum</i> Nakai
초롱꽃과 (Campanulaceae)	
수염가래꽃	<i>Lobelia chinensis</i> Lour.
통화식물목 (Tubiflorae)	
가지과 (Solanaceae)	
구기자나무	<i>Lycium chinense</i> Mill.
까마중	<i>Solanum nigrum</i> L. var. <i>nigrum</i>
파리	<i>Physalis alkekengi</i> var. <i>francheti</i> (Mast.) Hort
땅파리	<i>Physalis angulata</i> L.
꿀풀과 (Lamiaceae)	

부록 3-1. Continued

개곽향	<i>Teucrium japonicum</i> Houtt.
개썩싸리	<i>Lycopus ramosissimus</i> (Makino) Makino
긴병꽃풀	<i>Glechoma grandis</i> (A.Gray) Kuprian.
꽃범의꼬리	<i>Physostegia virginiana</i> Benth.
들깨	<i>Perilla frutescens</i> var. <i>japonica</i> (Hassk.) Hara
들깨풀	<i>Mosla punctulata</i> (J.F.Gmelin) Nakai
박하	<i>Mentha piperascens</i> (Malinv.) Holmes
배암차즈기	<i>Salvia plebeia</i> R.Br.
산박하	<i>Isodon inflexus</i> (Thunb.) Kudo
석잠풀	<i>Stachys japonica</i> Miq.
소엽	<i>Perilla frutescens</i> var. <i>acuta</i> Kudo
썩싸리	<i>Lycopus lucidus</i> Turcz.
애기골무꽃	<i>Scutellaria dependens</i> Maxim.
애기썩싸리	<i>Lycopus maackianus</i> (Maxim. ex Herder) Makino
애기탑꽃	<i>Clinopodium gracile</i> (Benth.) Kuntze
익모초	<i>Leonurus japonicus</i> Houtt.
쥐깨풀	<i>Mosla dianthera</i> (Buch.-Ham. ex Roxb.) ex Maxim.
향유	<i>Elsholtzia ciliata</i> (Thunb.) Hyl.
능소화과 (Bignoniaceae)	
개오동	<i>Catalpa ovata</i> G.Don
메꽃과 (Convolvulaceae)	
둥근잎유홍초	<i>Quamoclit coccinea</i> Moench
메꽃	<i>Calystegia sepium</i> var. <i>japonicum</i> (Choisy) Makino
미국나팔꽃	<i>Ipomoea hederacea</i> Jacq. var. <i>hederacea</i>
미국실새삼	<i>Cuscuta pentagona</i> Engelm.
애기메꽃	<i>Calystegia hederacea</i> Wall.
큰메꽃	<i>Calystegia sepium</i> (L.) R.Br.
쥐꼬리망초과 (Acanthaceae)	
쥐꼬리망초	<i>Justicia procumbens</i> L.
지치과 (Boraginaceae)	
꽃마리	<i>Trigonotis peduncularis</i> (Trevir.) Benth. ex Hemsl.
현삼과 (Scrophulariaceae)	

부록 3-1. Continued

논둑외풀	<i>Lindernia micrantha</i> D.Don
문모초	<i>Veronica peregrina</i> L.
물칭개나물	<i>Veronica undulata</i> Wall.
미국외풀	<i>Lindernia dubia</i> (L.) Pennell
밭둑외풀	<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Borbas
선개불알풀	<i>Veronica arvensis</i> L.
주름잎	<i>Mazus pumilus</i> (Burm.f.) Steenis
큰물칭개나물	<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L.

부록 3-2. 한강하구 생물목록 (저서무척추동물)

Local name	Scientific name
연체동물문(Mollusca)	
이매패강(Gastropoda)	
홍합목(Mytiloida)	
홍합과(Mytilidae)	
민물담치	<i>Limnoperna fortunei</i> Dunker
백합목(Veneroida)	
재첩과(Corbiculidae)	
콩재첩	<i>Corbicula felnouilliana</i>
참재첩	<i>Corbicula fluminea producta</i>
복족강(Gastropoda)	
중복족목(Mesogastropoda)	
논우렁이과(Viviparidae)	
우렁이	<i>Acrocephalus arundinaceus</i>
왕우렁이	<i>Pomacea canaliculata</i> Lamarck
기수우렁이과(Assimineidae)	
기수우렁이	<i>Assiminea lutea</i> Adams
쇠우렁이과(Bithyniidae)	
쇠우렁이	<i>Parafossarulus manchouricus</i>
기안목(Basommatophora)	
물달팽이과(Lymnaeidae)	
물달팽이	<i>Radix auricularia coreana</i> Martens
또아리물달팽이	<i>Gyraulus convexiusculus</i> Hutton
짬물우렁이과(Succineidae)	
짬물우렁이	<i>Neosuccinea horticola koreana</i>
환형동물문(Annelida)	
다모강(Polychaeta)	
참갯지렁이과(Nereidae)	
일본강어귀참갯지렁이	<i>Hediste japonica</i>
북방백금갯지렁이	<i>Nephtys caeca</i>
참갯지렁이	<i>Neanthes japonica</i> Izuka

부록 3-2. Continued

유형동물문(Nemerta)

무침강(Anopla)

리네우스과(Lineusidae)

끈벌레 sp.1 *Lineus alborostratus* sp.

절지동물문(Arthropoda)

갑각강(Crustacea)

패충류 sp. *Ostracoda* sp.

키클롭스과(Cyclopseidae)

검물벼룩 sp. *Cyclops* sp.

참검물벼룩 *Cyclops vicinus*

무갑목(Anostraca)

풍년새우과(Thamnocephala)

풍년새우 *Branchinella kugenumaensis*

십각목(Decapoda)

바위게과(Grapsidae)

말뚱게 *Sesarma dehaani* H. Milne Edwards

붉은발말뚱게 *Sesarma intermeda*

참게 *Eriocheir sinensis* H. Milne Edwards

방게 *Helice tridens* De Haan

애기참게 *Eriocheir leptognathus*

달랑게과(Ocypodidae)

펼콩게 *Ilyoplax deschampsi*

징거미새우과(Palaemonidae)

각시흰새우 *Exopalaemon modestus* Heller

밀새우 *Palaemon carinicauda*

실다리밀새우 *Palaemon annandalei*

곤충강(Insecta)

하루살이목(Ephemeroptera)

꼬마하루살이과(Baetidae)

개뚱하루살이 *Baetis fuscatus* L.

쌍날개꼬마하루살이 *Cloeon dipterum*

잠자리목(Viviparidae)

실잠자리과(Coenagrionidae)

부록 3-2. Continued

목은실잠자리	<i>Sympecma paedisca</i> Brauer
참실잠자리	<i>Coenagrion lanceolatum</i>
왕잠자리과(Aeschnidae)	
왕잠자리	<i>Anax parthenope julius</i> Brauer
잠자리과(Libellulidae)	
고추잠자리	<i>Crocothemis servilia mariannae</i> Kiauta
깃등잠자리	<i>Sympetrum infuscatum</i> Selys
날개띠좁잠자리	<i>Sympetrum pedemontanum elatum</i> Selys
노랑잠자리	<i>Ascalaphus sibiricus</i>
등검은실잠자리	<i>Cercion calamorum calamorum</i>
밀잠자리	<i>Orthetrum albistylum speciosum</i> Ugler
밀잠자리불이	<i>Deielia phaon</i> Selys
여름좁잠자리	<i>Sympetrum dawinianum</i> Selys
풀잠자리목(Neuroptera)	
명주잠자리과(Myrmeleontidae)	
명주잠자리	<i>Hagenomyia micanss</i>
노린재목(Heteroptera)	
물벌레과(Corixidae)	
방물벌레	<i>Sigara (Tropocorixa) substriata</i> Uhler.
소금쟁이과(Gerridae)	
등빨간소금쟁이	<i>Gerris gracilicornis</i> Horv.
애소금쟁이	<i>Gerris latiabdominis</i> Miy.
왕소금쟁이	<i>Gerris elongatus</i>
송장헤엄치게과(Notonectidae)	
송장헤엄치게	<i>Notonecta triguttata</i> Motsch.
실소금쟁이과(Hydrometridae)	
실소금쟁이	<i>Hydrometra albolineata</i> sp.
장구애비과(Nepidae)	
게아재비	<i>Ranatra chinensis</i> Mayr
방게아재비	<i>Ranatra unicolor</i> Scott
딱정벌레목(Coleoptera)	
물땡땡이과(Hydrophilidae)	
물땡땡이	<i>Hydrophilus acuminatus</i> Motschulsky

부록 3-2. Continued

애물뽕뽕이	<i>Sternolophus rufipes</i> Fabricius
좀물뽕뽕이	<i>Helochaeres (Hydrobaticus) striatus</i> Sharp
물방개과(Dytiscidae)	
검정물방개	<i>Cybister brevis</i> Aube
꼬마물방개	<i>Guignotus japonicus</i> Sharp
꼬마줄물방개	<i>Hydaticus grammicus</i> Germar
물방개	<i>Cybister japonicus</i> Sharp
자주물방개	<i>Cybister</i> Sp.
바구미과(Curculionidae)	
벼물바구미	<i>Lissorhynchus oryzophilus</i>
매미목(Hemiptera)	
거품벌레과(Cercopidae)	
거품벌레	<i>Aphrophora costalis</i>
파리목(Diptera)	
깔따구과(Chironomidae)	
깔따구 red	<i>Chironomus plumosus prasinus</i>

부록 3-3. 한강하구 생물목록 (어류)

Local name	Scientific name
가승어	<i>Chelon haematocheilus</i> Temminck & Schlegel
가시납지리	<i>Acanthorhodeus chankaensis</i> Dybowski
갈문망둑	<i>Rhinogobius giurinus</i>
강주걱양태	<i>Repomucenus olidus</i> Gunther
강준치	<i>Erythroculter erythropterus</i> Basilewsky
긴물개	<i>Squalidus gracilis majimae</i> Jordan & Hubbs
꺼정어	<i>Trachidermus fasciatus</i> Heckel
고리	<i>Opsarichthys uncirostris</i> Berg
날개망둑	<i>Favonigobius gymnauchen</i>
납지리	<i>Acheilognathus rhombeus</i> Temminck & Schlegel
누치	<i>Hemibarbus labeo</i> Pallas
대륙송사리	<i>Oryzias sinensis</i> Uwa & Chu
도화뱅어	<i>Neosalanx andersoni</i>
동자개	<i>Pseudobagrus fulvidraco</i> Richardson
뿔경모치	<i>Microphysogobio jeoni</i> Kim & Yang
두우쟁이	<i>Saurogobio dabryi</i> Bleeker
떡붕어	<i>Carassius cuvieri</i> Temminck & Schlegel
메기	<i>Silurus asotus</i> Linnaeus
모래무지	<i>Pseudogobio esocinus</i> Temminck & Schlegel
물개	<i>Squalidus japonicus coreanus</i> Berg
문절망둑	<i>Acanthogobius flavimanus</i> Temminck & Schlegel
미꾸라지	<i>Misgurnus mizolepis</i> Günther
미꾸리	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i> Cantor
민물검정망둑	<i>Tridentiger brevispinis</i> Katsuyama, Arai et Nakamura
민물두줄망둑	<i>Tridentiger bifasciatus</i>
밀자개	<i>Leiocassis nitidus</i>
배스	<i>Micropterus salmoides</i> Lacepède
뱀장어	<i>Anguilla japonica</i> Temminck & Schlegel

부록 3-2. Continued

뱅어	<i>Salangichthys microdon</i>
버들매치	<i>Abbottina rivularis</i> Basilewsky
붕어	<i>Carassius auratus</i> Linnaeus
블루길	<i>Lepomis macrochirus</i> Rafinesque
빨갱이	<i>Ctenoprypauchen microcephalus</i> Bleeker
살치	<i>Hemiculter leucisculus</i> Basilewsky
송어	<i>Mugil cephalus</i> Linnaeus
쏘가리	<i>Siniperca scherzeri</i> Steindachner
아작망둑	<i>Triaenopogon barbatus</i> Günther
웅어	<i>Coilia nasus</i>
잉어	<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus
점농어	<i>Lateolabrax maculatus</i>
줄공치	<i>Hyporhamphus intermedius</i>
참붕어	<i>Pseudorasbora parva</i> Temminck & Schlegel
초어	<i>Ctenopharyngodon idellus</i>
치리	<i>Hemiculter eigenmanni</i> Jordan & Metz
큰납지리	<i>Acanthorhodeus macropterus</i> Bleeker
풀망둑	<i>Synechogobius hasta</i> Temminck & Schlegel
피라미	<i>Zacco platypus</i> Temminck & Schlegel
황강달이	<i>Collichthys lucidus</i> Richardson
황복	<i>Takifugu obscurus</i> Abe
흰발망둑	<i>Acanthogobius lactipes</i> Hilgendorf

부록 3-4. 한강하구 생물목록 (양서류)

Local name	Scientific name
금개구리	<i>Pelophylax chosenicus</i> Okada
두꺼비	<i>Bufo gargarizans</i> Cantor
맹꽁이	<i>Kaloula borealis</i> Barbour
북방산개구리	<i>Rana dybowskii</i> Günther
수원청개구리	<i>Hyla suweonensis</i> Kuramoto
참개구리	<i>Rana nigromaculata</i> Hallowell
청개구리	<i>Hyla japonica</i> Günther
한국산개구리	<i>Rana coreana</i> Okada

부록 3-5. 한강하구 생물목록 (파충류)

Local name	Scientific name
구렁이	<i>Elaphe s. schrenckii</i> Strauch
누룩뱀	<i>Elaphe dione</i>
대륙유혈목이	<i>Amphiesma vibakari ruthveni</i> Boie
무자치	<i>Elaphe rufodorsata</i> Cantor
붉은귀거북	<i>Trachemys scripta</i> Schoepff
살모사	<i>Gloydus brevicaudus</i> Boie
쇠살모사	<i>Gloydus ussuriensis</i> Emelianov
유혈목이	<i>Rhabdophis t. tigrinus</i> Boie
자라	<i>Pelodiscus sinensis</i> Wiegmann
줄장지뱀	<i>Takydromus wolteri</i> Fischer

부록 3-5. 한강하구 생물목록 (조류)

Local name	Scientific name
가마우지	<i>Phalacrocorax capillatus</i> Temminck & Schlegel
가창오리	<i>Anas formosa</i> Georgi
갈까마귀	<i>Corvus monedula</i> Pallas
갈매기	<i>Larus canus</i> Linnaeus
개개비	<i>Acrocephalus arundinaceus</i> Temminck & Schlegel
개펄	<i>Pluvialis squatarola</i> Linnaeus
개똥지빠귀	<i>Turdus naumanni eunomus</i> Temminck
개리	<i>Anser cygnoides</i> Linnaeus
검독수리	<i>Aquila chrysaetos japonica</i> Severtzov
검은가슴물떼새	<i>Pluvialis fulva</i> J. F. Gmelin
검은댕기해오라기	<i>Butorides striata amurensis</i> von Schrenk
검은머리썩새	<i>Emberiza schoeniclus</i> Linnaeus
검은머리흰죽지	<i>Aythya marila nearctica</i> Stejneger
검은목두루미	<i>Grus grus lilfordi</i> Sharpe
고방오리	<i>Anas acuta</i> Linnaeus
괭이갈매기	<i>Larus crassirostris</i> Vieillot
구레나룻제비갈매기	<i>Chlidonias hybridus</i> Pallas
굴뚝새	<i>Troglodytes troglodytes</i> Linnaeus
귀제비	<i>Cecropis daurica</i> Linnaeus
긴꼬리홍양진이	<i>Uragus sibiricus</i> Pallas
긴발톱할미새	<i>Motacilla flava taivana</i> Swinhoe
까마귀	<i>Corvus corone</i> Linnaeus
까치	<i>Pica pica</i> Linnaeus
깍작도요	<i>Tringa hypoleucos</i> Linnaeus
깍도요	<i>Gallinago gallinago gallinago</i> Linnaeus
꼬마물떼새	<i>Charadrius dubius curonicus</i> J. F. Gmelin
피꼬리	<i>Oriolus chinensis</i> Linnaeus
펄	<i>Phasianus colchicus karpowi</i> Buturlin

부록 3-5. Continued

넓적부리	<i>Anas clypeata</i> Linnaeus
노랑눈썹솔새	<i>Phylloscopus inornatus</i> Blyth
노랑부리저어새	<i>Platalea leucorodia leucorodia</i> Linnaeus
노랑지빠귀	<i>Turdus naumanni</i> Temminck
노랑턱멧새	<i>Emberiza elegans</i> Temminck
노랑할미새	<i>Motacilla cinerea</i> Tunstall
논병아리	<i>Tachybaptus ruficollis poggei</i> Reichenow
대백로	<i>Egretta alba alba</i> Linnaeus
댕기물떼새	<i>Vanellus vanellus</i> Linnaeus
댕기흰죽지	<i>Aythya fuligula</i> Linnaeus
독수리	<i>Aegypius monachus</i> Linnaeus
동고비	<i>Sitta europaea</i> Linnaeus
되새	<i>Fringilla montifringilla</i> Linnaeus
두루미	<i>Grus japonensis</i> P. L. S. Muller
딱새	<i>Phoenicurus auroreus</i> Pallas
때까치	<i>Lanius bucephalus</i> Temminck & Schlegel
때까마귀	<i>Corvus frugilegus</i> Linnaeus
뜸부기	<i>Gallicrex cinerea</i> J. F. Gmelin
마도요	<i>Numenius arquata orientalis</i> C. L. Brehm
말똥가리	<i>Buteo buteo japonicus</i> Temminck & Schlegel
매	<i>Falco peregrinus japonensis</i> J. F. Gmelin
메추라기	<i>Coturnix japonica</i> Temminck & Schlegel
멧비둘기	<i>Streptopelia orientalis</i> Latham
멧새	<i>Emberiza cioides</i> Brandt
멧종다리	<i>Prunella montanella</i> pallas
물까치	<i>Cyanopica cyana</i> pallas
물닭	<i>Fulica atra</i> Linnaeus
물때까치	<i>Lanius sphenocercus</i> Cabanis
물수리	<i>Pandion haliaetus</i> Linnaeus
물총새	<i>Alcedo atthis</i> Linnaeus
민물가마우지	<i>Phalacrocorax carbo sinensis</i> Blumenbach

부록 3-5. Continued

민물도요	<i>Calidris alpina sakhalina</i> Vieillot
바늘꼬리도요	<i>Gallinago stenura</i> Bonaparte
바늘꼬리칼새	<i>Hirundapus caudacutus</i>
바다비오리	<i>Mergus serrator</i> Linnaeus
박새	<i>Parus major</i> Linnaeus
발구지	<i>Anas querquedula</i> Linnaeus
방울새	<i>Carduelis sinica</i> Linnaeus
밭종다리	<i>Anthus spinoletta</i> Linnaeus
백할미새	<i>Motacilla alba lugens</i> Gloger
북방검은머리쑥새	<i>Emberiza pallasii</i> Cabanis
붉은가슴밭종다리	<i>Anthus cervinus</i> Pallas
붉은머리오목눈이	<i>Paradoxornis webbiana</i> Gould
붉은부리갈매기	<i>Larus ridibundus</i> Linnaeus
붉은배새매	<i>Accipiter soloensis</i> Horsfield
비둘기조롱이	<i>Falco amurensis</i> Radde
비오리	<i>Mergus merganser merganser</i> Linnaeus
빠꾸기	<i>Cuculus canorus</i> Linnaeus
빨논병아리	<i>Podiceps cristatus cristatus</i> Linnaeus
백백도요	<i>Tringa ochropus</i> Linnaeus
상모술새	<i>Regulus regulus</i> Linnaeus
새매	<i>Accipiter nisus nisosimilis</i> Tickell
새홀리기	<i>Falco subbuteo subbuteo</i> Linnaeus
솔개	<i>Milvus migrans lineatus</i> J. E. Gray
솔새사촌	<i>Phylloscopus fuscatus</i> Blyth
쇠기러기	<i>Anser albifrons frontalis</i> S. F. Baird
쇠동고비	<i>Sitta villosa</i> Verreaux
쇠딱다구리	<i>Dendrocopos kizuki</i> Temminck
쇠뿔부기사촌	<i>Porzana fusca erythrothorax</i> Temminck & Schlegel
쇠물닭	<i>Gallinula chloropus chloropus</i> Linnaeus
쇠박새	<i>Parus palustris</i> Linnaeus
쇠백로	<i>Egretta garzetta</i> Linnaeus
쇠부리도요	<i>Numenius minutus</i> Gould

부록 3-5. Continued

쇠부엉이	<i>Asio flammeus</i> Pontoppidan
쇠붉은뺨멧새	<i>Emberiza pusilla</i> Pallas
쇠솔딱새	<i>Muscicapa latirostris</i> Pallas
쇠솔새	<i>Phylloscopus borealis</i> J. H. Blasius
쇠오리	<i>Anas crecca crecca</i> Linnaeus
쇠황조롱이	<i>Falco columbarius insignis</i> Clark
수리부엉이	<i>Bubo Bubo</i> Linnaeus
스원호오목눈이	<i>Remiz pendulinus</i> Linnaeus
시베리아흰두루미	<i>Grus leucogeranus</i> Pallas
쑥새	<i>Emberiza rustica</i> Pallas
알락개구리매	<i>Circus melanoleucos</i> Pennant
알락도요	<i>Tringa glareola</i> Linnaeus
알락오리	<i>Anas strepera streper</i> Linnaeus
알락할미새	<i>Motacilla alba leucopsis</i> Gould
어치	<i>Garrulus glandarius</i> Linnaeus
오목눈이	<i>Aegithalos caudatus</i> Linnaeus
오색딱다구리	<i>Dendrocopos major</i> Linnaeus
왜가리	<i>Ardea cinerea jouyi</i> Clark
원앙	<i>Aix galericulata</i> Linnaeus
재갈매기	<i>Larus argentatus</i> Pontoppidan
재두루미	<i>Grus vipio</i> Pallas
젯빛개구리매	<i>Circus cyaneus cyaneus</i> Linnaeus
저어새	<i>Platalea minor</i> Temminck & Schlegel
제비	<i>Hirundo rustica</i> Linnaeus
종다리	<i>Alauda arvensis</i> Linnaeus
중대백로	<i>Egretta alba modesta</i> J. E. Gray
중백로	<i>Egretta intermedia intermedia</i> Wagler
중부리도요	<i>Numenius phaeopus variegatus</i> Scopoli
직박구리	<i>Hypsipetes amaurotis</i> Temminck
진박새	<i>Parus ater</i> Linnaeus
집비둘기	<i>Columba livia domestica</i> Gmelin
찌르레기	<i>Sturnus cineraceus</i> Temminck
참매	<i>Accipiter gentilis schvedowi</i> Menzbier

부록 3-5. Continued

참새	<i>Passer montanus</i> Linnaeus
참수리	<i>Haliaeetus pelagicus pelagicus</i> Pallas
청다리도요	<i>Tringa nebularia</i> Gunnerus
청둥오리	<i>Anas platyrhynchos platyrhynchos</i> Linnaeus
청딱다구리	<i>Picus canus</i> J. F. Gmelin
청호반새	<i>Halcyon pileata</i> Boddaert
측새	<i>Emberiza spodocephala</i> Pallas
칠부엉이	<i>Asio otus</i> Linnaeus
콩새	<i>Coccothraustes coccothraustes</i> Linnaeus
큰고니	<i>Cygnus cygnus</i> Linnaeus
큰기러기	<i>Anser fabalis serrirostris</i> Swinhoe
큰말뚝가리	<i>Buteo hemilasius</i> Temminck & Schlegel
큰부리까마귀	<i>Corvus macrorhynchos</i> Wagler
큰발종다리	<i>Anthus novaeseelandiae</i> Vieillot
털발말뚝가리	<i>Buteo lagopus menzbieri</i> Dementjev
파랑새	<i>Eurystomus orientalis</i> Linnaeus
학도요	<i>Tringa erythropus</i> Pallas
한국재갈매기	<i>Larus cachinnans</i> Pallas
해오라기	<i>Nycticorax nycticorax nycticorax</i> Linnaeus
호사도요	<i>Rostratula benghalensis benghalensis</i> Linnaeus
홍머리오리	<i>Anas penelope</i> Linnaeus
황로	<i>Bubulcus ibis coromandus</i> Boddaert
황새	<i>Ciconia boyciana</i> Swinhoe
황오리	<i>Tadorna ferruginea</i> Pallas
황조롱이	<i>Falco tinnunculus interstinctus</i> Horsfield
휘파람새	<i>Cettia diphone</i> Kittlitz
흑기러기	<i>Branta bernicla nigricans</i> Lawrence
흑두루미	<i>Grus monacha</i> Temminck
흰기러기	<i>Anser caerulescens caerulescens</i> Linnaeus
흰꼬리수리	<i>Haliaeetus albicilla albicilla</i> Linnaeus
흰날개해오라기	<i>Ardeola bacchus</i> Bonaparte
흰등발종다리	<i>Anthus gustavi</i> Swinhoe

부록 3-5. Continued

흰목물떼새	<i>Charadrius placidus</i> Gray & Gray
흰비오리	<i>Mergus albellus</i> Linnaeus
흰뺨검둥오리	<i>Anas poecilorhyncha</i> Swinhoe <i>zonorhyncha</i>
흰뺨오리	<i>Bucephala clangula clangula</i> Linnaeus
흰죽지	<i>Aythya ferina</i> Linnaeus
흰죽지수리	<i>Aquila heliaca</i> Savigny
항등새	<i>Anthus hodgsoni</i> Richmond

부록 3-6. 한강하구 생물목록 (포유류)

Local name	Scientific name
갈밭쥐	<i>Microtus fortis</i> Buchner
고라니	<i>Hydropotes inermis</i> Swinhoe
너구리	<i>Nyctereutes procyonoides</i> Gray
두더지	<i>Mogera wogura</i> Temminck
등줄쥐	<i>Apodemus agrarius</i> Pallas
멧밭쥐	<i>Micromys minutus</i> Pallas
삾	<i>Felis bengalensis</i> Kerr
상괭이	<i>Neophocaena phocaenoides</i> G. Cuvier
점박이물범	<i>Phoca largha</i> Pallas
족제비	<i>Mustela altaica</i> Pallas